سلسلة الثقافة المميزة 2

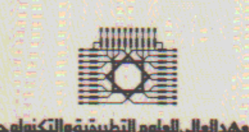
موجز تاريخ الزمن

من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء

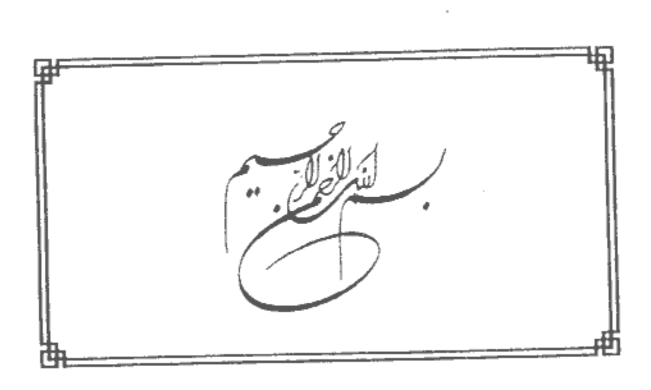
تأليف
ستيفن هوكنغ
أستاذ في جامعة كمبردج

ترجمة
أدهم السمان
أستاذ في جامعة دمشق





المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا


بسم الله الرحمن الرحيم


MOHAMED KHATAB





دمشق - اوتستراد المزة. ص.ب: ١٦٠٣٥

هاتف : ٦٦١٨٠١٣ - ٦٦١٨٩٦١

تلفاكس : ٦٦١٨٨٢٠ - برقياً : طلاسدار

ريع الدار

لهيئة مدارس أبناء وبنات الشهداء في الجمهورية العربية السورية



موجز تاريخ الزمن

من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء

صدر هذا الكتاب بالتعاون مع
المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بدمشق



الطبعة الرابعة ٢٠٠٨

ستيفن هوكنغ
أستاذ في جامعة كمبردج

موجز تاريخ الزمن

من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء



ترجمة
أدهم السمّان
أستاذ في جامعة دمشق

أعمال الدكتور أدهم السمان المنشورة

المؤلفات

- **الضوء الهندسي** : منشورات جامعة دمشق .
- **الكهرطيسية** : منشورات جامعة دمشق .

المترجمات

- **الأرض والسماء** : تأليف أ . فولكوف ، منشورات وزارة الثقافة والإرشاد القومي ، دمشق .
- **طبيعة قوانين الفيزياء** : تأليف ر . فاينمان ، طبعة ثانية ، منشورات مؤسسة الرسالة بدمشق .
- **هكذا أرى العالم** : تأليف أ . أينشتاين ، منشورات وزارة الثقافة والإرشاد القومي ، دمشق .
- **الطبيعة في الفيزياء المعاصرة** : تأليف ف . هايزنبرغ ، منشورات دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، دمشق .
- **فيزياء وفلسفة** : تأليف ف . هايزنبرغ ، طبعة ثانية مزيدة ، منشورات مؤسسة الرسالة ، بيروت .
- **تطور الأفكار في الفيزياء**: تأليف أ. أينشتاين ول . إنفلد ، طبعة ثانية ، منشورات دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، دمشق .
- **المكان والزمان في العالم الكوني الحديث** : تأليف ب . ك . و . ديفيس ، منشورات مؤسسة الرسالة ، بيروت .
- **الأوتار الفائقة** : تأليف بول ديفيس ، جوليان براون ، منشورات دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، دمشق .


بسم الله الرحمن الرحيم


MOHAMED KHATAB

عـنـوان الـكـتـاب بالـلـغـة الإنـكـليزيـة

A BRIEF HISTORY OF TIME

FROM THE BIG BANG TO BLACK HOLES

STEPHEN W. HAWKING



كلمــات شــكر

لقد حزمت أمري، بعد المحاضرات التي ألقيتها في هارفارد عام ١٩٨٢، على نشر كتاب عن المكان والزمان يستهدف الجمهور العريض. صحيح أن كتباً كثيرة قد نُشرت قبل هذا الكتاب، منها الجيد ككتاب واينبرغ S.Weinberg (الدقائق الثلاث الأولى من عمر الكون) ومنها الرديء جداً ولا أذكره؛ إلا أنني أرى أنها كلها لم تهتم بشكل جدي بالمسائل التي دعتني إلى إجراء بحوث في علم الكون وفي نظرية الكموم: من أين جاء الكون؟ كيف بدأ ولماذا؟ وكيف ستكون نهايته إذا كان له مصير محتوم؟ كلها أسئلة تهم كل الناس. لكن العلم الحديث قد بلغ في التقنية شأواً لا يستطيع سوى عدد قليل من المختصين التعامل مع رياضياته الكامنة في أعماق أوصافه. ومع ذلك يمكن للأفكار الأساسية في أصل الكون ومصيره أن تعطى صيغة غير رياضية قريبة المتناول إلى إنسان لا يملك مؤهلات علمية. وهذا ما حاولت عمله في هذا الكتاب، وللقارئ أن يحكم على مدى نجاحي فيه.

لقد قيل لي إن كل معادلة رياضية تضعها في هذا الكتاب ستنزل بمبيعاته إلى نصفها. وعلى هذا قررت أن لا أضع فيه أية معادلة. ومع ذلك وضعت في النهاية واحدة فقط هي معادلة أينشتاين $E=mc^2$، وآمل أن لا تفزع نصف قرائي المستهدفين.

لقد أبتليت، لسوء حظي، بعاهة عصبية تعوق حركتي (مرض لو ـــ جيريغ Lou-Gehrig) لكن الحظ ابتسم لي في كل شيء سواها تقريباً. فالعون والعزاء اللذين

لقيتهما من زوجتي جين وأولادي روبرت ولوسي وتيمي جعلاني أعيش حياة طبيعية وأمارس مهنة مفعمة بالنجاح. كان حظي الآخر يتمثل باختيار مهنة الفيزياء النظرية، وهي مهنة تقوم على العمل الفكري. وبذلك لم يكن عجزي عائقاً خطيراً. ولقد حظيت من زملائي العلميين بمساعدة كبيرة.

لقد كان زملائي في المرحلة «التقليدية» الأولى من مهنتي هم: بنروز R.Penrrose وغيروك R.Geroch وكارتر B.Carter وايليس G.Ellis. وإنني أدين لهم بالعون والعمل الذي انجزناه معاً. وقد توجتُ هذه المرحلة حين اشتركت مع إيليس في كتاب [بنية الزمكان (المكان ـــ الزمان) في المدى الواسع The Large Scale Structure Of Space-time] أصدرناه عام ١٩٧٣. ولئن كنت لا أوصي قراء كتابي الراهن بالعودة إلى ذلك الكتاب للاستزادة من المعلومات، لأنه كتاب عالي التقنية صعب الفهم، إلا أنني آمل أن أكون قد تعلمت منذئذ أن أكتب بلغة أيسر على الفهم.

وفي المرحلة الثانية «الكمومية» من مهنتي، التي بدأت عام ١٩٧٤، كان زملائي الرئيسيون هم غيبونز G.Gibbons وبيج D.Page وهارتل J.Hartle. إنني أدين لهم بالكثير، كما أدين لتلاميذي الباحثين بمساعدة عظيمة قدموها لي على الصعيدين، الجسدي والنظري معاً. فقد كان لمحاولة استمراري في التماشي مع مستواهم فضل كبير في تشجيعي، وربما في الحيلولة دون سقوطي في هوة «الروتين».

لقد ساعدني كثيراً تلميذي ويت B.Whitt في إخراج هذا الكتاب. فقد أصابني التهاب رئوي عام ١٩٨٥، بعد أن كتبت نسخته الأولى. وقد أجريت لي عملية خزع الرغامي tracheotomy ففقدت القدرة على النطق وأصبحت شبه عاجز عن التفاهم. وتخيلت أنني لن أستطيع إنجازه، لكن مساعدة ويت لم تقتصر على مراجعته، بل حملني أيضاً على استخدام برنامج تفاهم اسمه (Living Center) أهداه لي فولتوس W.Woltosz، أحد العاملين في مؤسسة مختصة في كاليفورنيا. وبفضل هذا الجهاز أستطيع الآن أن أكتب كتباً ومقالات، وأن أتحدث مع الناس بفضل جهاز آخر صُنع في المؤسسة نفسها. وقد ركّب ديفيد ميزون هذا الجهاز وحاسوباً شخصياً صغيراً على مقعدي الدراج. وقد شعرت مع هذا التنظيم بفرق كبير، إذ أنني أصبحت قادراً على التفاهم بأفضل مما كنت قبل أن أفقد صوتي.

لقد قدم لي كثيرون ممن قرؤوا النسخ التمهيدية لهذا الكتاب اقتراحات

لتحسينه، أذكر منهم خصوصاً غوزاردي P.Guzzardi ، من دار النشر Bantam Books ، الذي أرسل إليّ صفحات وصفحات من التعليقات والأسئلة بخصوص كل ما رآه غير مشروح بشكل ملائم. وقد شعرت بالامتعاض حين استلمت القائمة الطويلة للتعديلات التي يقترحها، إلا أنني اعترف الآن أنه كان محقاً كل الحق. وأنا مقتنع أن هذا الكتاب قد استفاد من إلحاحه عليّ بفحص الأمور عن كثب.

وأعترف بفضل مساعديّ، كولين وليامز ودافيد توماس وريمون لافلام، وعضوات مكتبي، جودي فيلا وآن رالف وتشيريل بيلنغتون وسيروميزي، وفريق ممرضاتي. كما لم يكن بالإمكان تنفيذ أي شيء لولا المساعدة التي قُدمت لي في أبحاثي وفي نفقاتي الطبية من معهد غنفيل وكايوس ومن مجلس أبحاث العلوم والهندسة ومن مؤسسات ليفرهلم وماك آرثر ونوفلد ورالف سميث. فلهم أعبر عن خالص امتناني.

٢٠ تشرين أول/اكتوبر، ١٩٨٧

ستيفن هوكنغ

تقديم الكتاب والمؤلف

إننا نعيش حياتنا اليومية دون أن نفهم من عالمنا المحيط إلا القليل جداً. فنحن لا نمعن التفكير كثيراً في الآلية التي تولِّد ضوء الشمس التي تمدنا بأسباب الحياة، ولا بالثقالة التي تربطنا بهذه الأرض والتي لولاها لذهبنا تائهين في بحر الفضاء، ولا بالذرات التي نحن مصنوعون منها والتي ندين لاستقرارها بوجودنا كله. وباستثناء أولادنا (الذين لا يملكون من المعرفة ما يكفي لطرح أسئلة مهمة) لا تجد منا سوى قلة ممن يقضون وقتاً كبيراً في التساؤل عن أسباب كون الطبيعة كما هي، أو من أين جاء هذا الكون، أو هل كان موجوداً دائماً، أو هل سيرجع الزمن أدراجه نحو الماضي في يوم ما، وهل يمكن للحدث أن يحدث قبل أن تتوفر أسبابه، وهل يوجد للمعرفة البشرية حدود نهائية لن تتخطاها. هناك من اليافعين (وقد التقيت بعضاً منهم) من يريد أن يعرف ماذا يشبه الثقب الأسود وما هو أصغر جزء من المادة ولماذا نتذكر الماضي ولا نتذكر المستقبل؟ وإذا كان العالم قد بدأ من الفوضى فكيف حدث النظام الظاهر لنا اليوم؟ ولماذا يوجد كون؟.

إن أهالينا وأساتذتنا، في مجتمعنا القائم، يجيبون عن مثل هذه الأسئلة بهز الكتفين أو بذكر ما جاء في بعض النصوص الدينية مسرودة بأسلوب غامض. إنهم يشعرون بالضيق أمام هذه الأمور لأنها تكشف اليوم بكل وضوح حدود المعرفة البشرية.

لكن أفكاراً كثيرة، منها الفلسفي ومنها العلمي، قد انبثقت عن مثل هذه

الأسئلة. ومن البالغين يوجد اليوم أعداد متزايدة تطرح تلقائياً أسئلة متزايدة من هذا القبيل وتسمع بالمناسبة أجوبة فظيعة. فنحن، بين الذرات والنجوم، نوسع أفق تحرياتنا كي تشمل اللامتناهي في الصغر واللامتناهي في الكبر كليهما.

كنت، عام ١٩٧٤، وقبل سنتين من نزول مركبة الفضاء فيكينغ **Viking** على كوكب المريخ، أحضر اجتماعاً في انكلترا نظمته جمعية لندن الملكية للبحث في مسألة وجود حياة خارج الكرة الأرضية. وفي أثناء الاستراحة لشرب القهوة لاحظت أن هناك اجتماعاً آخر في حجرة مجاورة يضم عدداً من الناس أكبر بكثير، فدخلتها بدافع الفضول. وما لبثت أن أدركت أنني أشهد تقليداً قديماً هو تنصيب أعضاء جدد في الجمعية الملكية، إحدى أقدم المنظمات العلمية على وجه البسيطة. كان في الصف الأول شاب يجلس في كرسي دراج وكان يكتب اسمه بكل بطء على كتاب يحمل في صفحاته الأولى توقيع اسحاق نيوتن. وعندما فرغ من ذلك هبت عاصفة تصفيق. لقد كان ستيفن هوكنغ أسطورة منذ ذلك الوقت.

يشغل هوكنغ اليوم كرسي الرياضيات في جامعة كمبردج، وهو منصب كان يحتله نيوتن وآل إلى ديراك، وهما من أكابر العلماء الذين اهتموا باللامتناهي في الكبر واللامتناهي في الصغر. إنه خليفتهما بكل جدارة. وعلى هذا فإن الكتاب الذي نحن بصدده هو أول كتاب مليء بالهدايا من كل نوع يقدمها هوكنغ إلى الجمهور العادي من غير المختصين. إنه ينبىء عن العمل الفكري الذي بذله مؤلفه، وفيه من التشويق بمقدار ما فيه من التنويع. إن هذا الكتاب حافل بالرؤى النفاذة فيما يخص حدود الفيزياء وعلم الفلك وعلم الكون و... الشجاعة.

إنه أيضاً كتاب عن الله. إن كلمة الله حاضرة في كل صفحاته. ويتطلع هوكنغ إلى الإجابة عن السؤال المشهور الذي كان يطرحه أينشتاين: هل كان لله خيار حين خلق العالم؟ إنه يحاول، ويقولها بصراحة، أن يفهم ما اعتزمه فكر الله. وهذا جهد لا يقل غرابة عن نتيجة اجتهاده، حتى الآن على الأقل: عالم غير ذي حدود في المكان، غير ذي أول ولا آخر في الزمان، سار بنفسه كما قُدِّر له أن يسير.

كارل ساغان Carl Sagan

جامعة كورنيل ـــ ايثاكا، نيويورك

١ العالم كما نراه

ألقى أحد العلماء المشهورين (يقول بعضهم إنه برتراند رَسْل) محاضرة في علم الفلك. وكان يشرح كيف تدور الأرض حول الشمس وأسلوب دوران الشمس حول مركز مجموعة من النجوم ذات حجم عظيم تسمى مجرّتنا. وفي نهاية المحاضرة نهضت امرأة عجوز في آخر الصالة وقالت: «إن كل ما قلته لنا ليس أكثر من أقاصيص. الحقيقة هي أن العالم لوح منبسط محمول على ظهر سلحفاة عملاقة». عندئذ ارتسمت على شفتي العالم ابتسامة متعالية قبل أن يجيب «وعلى ماذا تقف السلحفاة؟» فردت العجوز قائلة: «إنك ثاقب البصيرة أيها الشاب، حقاً ثاقب البصيرة، إنها تقف على سلحفاة أخرى، وهكذا حتى الأسفل!».

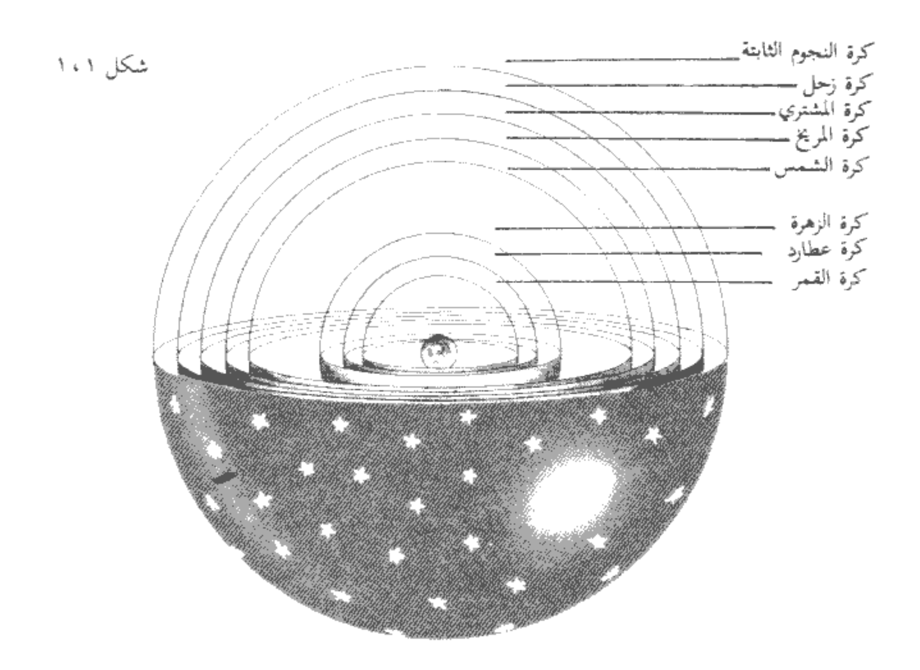
لا شك أن أكثريتنا ترى كثيراً من السخف في فكرة أن عالمنا يشبه برجاً من السلاحف تقف بعضاً فوق بعض دون نهاية، ولكن لماذا كان ما نعرفه عن هذا الأمر خيراً من ذاك؟ من أين جاء العالم وإلى أين يسير؟ هل له بدء؟ وإذا كان له بدء فماذا كان يوجد **قبل** هذا البدء؟ إن لدينا في الفيزياء من الاكتشافات الحديثة المهمة، بفضل التقنيات الرائعة الجيدة التي أتاحت بعضاً منها، ما يوحي بأجوبة عن بعض هذه الأسئلة الأساسية. وقد تغدو هذه الأجوبة ذات يوم واضحة وضوح دوران الأرض حول الشمس، أو ربما سخيفة كفكرة برج السلاحف. والزمن وحده (مهما حدث) كفيل بكلمة الفصل.

لقد قدم الفيلسوف اليوناني أرسطو، في العام ٣٤٠ قبل الميلاد، دليلين متينين اثنين لصالح كروية الأرض. أولهما أنه فهم أن خسوف القمر ناجم في الواقع عن أن الأرض تمر بينه وبين الشمس. ولما كان ظل الأرض على صفحة القمر دائرياً تماماً في كل خسوف، فإن هذا يعني أن كوكبنا كروي حتماً؛ ولو كان له شكل قرص مستو لاتخذ الظل شكلاً إهليلجياً، في بعض الخسوفات على الأقل، إلا إذا كان الخسوف لا يحدث إلا عندما يكون مستوي القرص عمودياً على الخط المستقيم بين الشمس والقمر. وثانيهما أن الإغريق كانوا قد تعلموا من خلال رحلاتهم أن نجم القطب[1] يصبح أقرب فأقرب إلى الأفق كلما توغل المرء في سيره نحو الجنوب، في حين أنه يصبح في مركز قبة السماء لمن ينظر إليه من القطب الشمالي للأرض. ومن قياس الفرق الزاوي بين موقعي نجم القطب منظوراً إليه من مصر ومن اليونان حسب أرسطو أن محيط دائرة الاستواء يساوي قرابة أربعمئة ألف فرسخ يوناني. ولئن كنا لا نعلم بالضبط طول هذا الفرسخ إلا أنه على الأرجح يساوي تقريباً مئتي متر، مما يجعل القيمة التي حسبها أرسطو مساوية قرابة ضعفي القيمة التي نقبلها اليوم. وكان لدى الإغريق حجة ثالثة تدعم كروية الأرض: إذ كيف نفسر أن صارية السفينة القادمة من بعيد تظهر في الأفق قبل أن يظهر جسم السفينة؟.

كان أرسطو يعتقد أن الأرض ثابتة في السماء، وأن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور حولها في أفلاك دائرية. كان ظنه هذا نابعاً من عقيدة روحية تضع الأرض في مركز العالم وترى في الحركة الدائرية مثالية رائعة. وبالسير على طريق هذه الأفكار وصل بطليموس، في القرن الثاني قبل الميلاد، إلى منظومة كونية ناجزة. كانت الأرض تحتل مركز هذه المنظومة، ويحيط بالأرض سبع كرات تحمل، على الترتيب: القمر والشمس والكواكب الخمسة المعروفة آنذاك: عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، زحل. وكانت الكواكب ترسم بنفسها دوائر صغيرة على كراتها السماوية، وذلك بهدف تفسير الشكل المعقد لمداراتها كما ترى في السماء من الأرض. كانت الكرة الأكثر بعداً عن الأرض تحمل النجوم الثابتة التي تبدو ثابتة المواقع بعضاً بالنسبة لبعض ودائرة كلها معاً كأنها جسم واحد. أما ما يوجد خلف

(١) آخر نجم في ذيل بنات نعش الصغرى (الدب الأصغر) «المترجم».

هذه الكرة الأخيرة فلم يذكر أحد عنه شيئاً معيناً، لكن من المؤكد أن هذا الجزء من العالم ليس، في رأيهم، قابلاً للرصد من قبل البشر.



شكل ١، ١

كان نموذج بطليموس يدَّعي تقديم منظومة موثوقة للتنبؤ بمواقع الأجرام في السماء. لكن بطليموس اضطر في سبيل ذلك إلى افتراض أن القمر يسلك مداراً يقترب أحياناً من الأرض إلى مسافة تساوي نصف المسافة التي يبلغها أحياناً أخرى. لكن هذا يعني أن القمر يجب أن يبدو لنا عندئذ أوسع بمرتين! ورغم أن بطليموس كان على دراية بهذا المطعن، إلا أن هذا لم يكن عائقاً يحول دون تبني منظومته عموماً ولدى كل الناس. وقد وجدت الكنيسة المسيحية فيها صورة تتفق مع ما جاء في الكتب المقدسة، وكان لها المزية الكبرى في أنها وجدت مكاناً، وراء كرة الثابتات، يتسع للفردوس وجهنم.

ومع ذلك، وفي عام ١٥١٤، اقترح قس بولوني اسمه نيقولا كوبرنيق، منظومة أخرى

أكثر بساطة . (خوفاً من أن يتهم بالهرطقة ومن أن يحرق بأمر الكنيسة نشر كوبرنيق أفكاره غفلاً من التوقيع .) كانت الشمس في منظومة كوبرنيق ثابتة تحتل مركز العالم وتدور الكواكب حولها في دوائر مركزها الشمس . لكن هذه النظرية لم تحظَ بالاهتمام الجدي إلا بعد قرن من الزمان تقريباً . وكان أن ساق الله لها عالمين فلكيين ــ أحدهما كبلر الألماني ، والآخر غاليليو الإيطالي ـ اضطلعا بالدفاع عنها علناً ، رغم أن المدارات التي كانت تتنبأ بها لم تكن متفقة بالضبط مع نتائج الأرصاد الفلكية . لكن الضربة القاضية التي أطاحت بنظرية أرسطو وبطليموس نزلت عام ١٦٠٩ . ففي تلك السنة أخذ غاليليو يراقب السماء في الليل بنظارة كان قد أنجز اختراعها منذ قليل . وعند مشاهدة المشتري اكتشف أن هذا الكوكب مصحوب بعدة توابع صغيرة (أقمار) تدور حوله . وهذا يدعو إلى الاعتقاد بأنه «**ليس كل شيء**» دائرياً إجبارياً حول الأرض كما كان يرى أرسطو وبطليموس . (صحيح أنه كان بالإمكان التمسك بأن الأرض ثابتة في مركز العالم وأن أقمار المشتري ترسم حولها مسارات شديدة التعقيد **توهم** المرء بأن تلك الأقمار تدور حول المشتري . لكن منظومة كوبرنيق كانت أبسط بكثير) . لكن كبلر أدخل ، في ذلك العصر نفسه ، على منظومة القس البولوني تعديلات تقضي بأن المدارات الكوكبية ليست دوائر بل إهليلجات (إن الإهليلج دائرة متطاولة ، ويسميه الرياضيون قطعاً ناقصاً) تحتل الشمس فيها أحد المحرقين . وبهذه الفرضية اتفقت النبوءات أخيراً مع الأرصاد .

لقد كان كبلر لا يرى فكرة المدارات الإهليلجية سوى فرضية تناسب مقتضى الحال ؛ بل قل إنه كان مشمئزاً منها لأن الإهليلجات أقل جمالاً من الدوائر . وعندما اكتشف بما يشبه المصادفة أن المدارات الإهليلجية تفسر نتائج الأرصاد لم يستطع أن يوفق بينها وبين فكرته القائلة بأن الكواكب تدور حول الشمس بسبب القوى المغنطيسية . أما تفسير ذلك فقد تأخر حتى عام ١٦٨٧ عندما نشر نيوتن كتابه ، *المبادئ الرياضية في فلسفة الطبيعة* ؛ فكان ذلك على الأرجح ، وحتى ذلك التاريخ ، أهم عمل في الفيزياء أنجزه رجل بمفرده . ففي هذا الكتاب لم يقتصر نيوتن على بناء نظرية تشرح كيف تتحرك الكواكب في المكان وفي الزمان بل فصّل فيه أيضاً الرياضيات المعقدة التي يقتضيها تحليل هذه الحركات . وقد اقترح العالم الإنكليزي فوق ذلك قانون التثاقل الكوني الذي بموجبه تتجاذب أجرام هذا العالم فيما

بينها وفق قوة تزداد شدتها مع تعاظم الكتلتين الماديتين للجسمين المتجاذبين ومع اقتراب أحدهما من الآخر، وهي القوة التي تجعل الأشياء تسقط نحو الأرض (لا شك أن الحكاية التي تقول بأن نيوتن قد اهتدى إلى طريق هذا الاكتشاف من تفاحة سقطت على رأسه حكاية ملفقة. وبهذا الصدد لم يقل نيوتن أكثر من أن فكرة التثاقل خطرت له وهو جالس في «وضعية تَفَكُّر» وأنها «جاءت بمناسبة سقوط تفاحة»). لقد بيَّن نيوتن إذن، اعتماداً على هذا القانون، أن التثاقل هو الذي يجعل القمر يدور حول الأرض، وشرح لماذا تسلك الأرض والكواكب حول الشمس مدارات إهليلجية.

وبذلك تخلص النموذج الكوبرنيقي من كرات بطليموس السماوية، وفي الوقت نفسه، من فكرة أن العالم ذو حدود طبيعية. ولما كانت «النجوم ثابتة» لا تغير مواقعها ـــ باستثناء حركتها الظاهرية الجماعية التي عُزيت إلى دوران الأرض حول محورها ـــ فقد أصبح من الطبيعي أن نفترض أنها أجرام تشبه شمسنا لكنها أبعد عنا منها بكثير.

لقد فهم نيوتن، بموجب نظريته التثاقلية، أن النجوم تتجاذب حتماً فيما بينها، وأنها لا يمكن بالتالي أن تظل أساسياً في حالة سكون. فهل هي كلها في حركة سقوط متهافت نحو نقطة واحدة؟ لقد عبر نيوتن في رسالة بعث بها عام ١٦٦١ إلى بنتلي R.Bently، أحد كبار المفكرين الآخرين في عصره، عن يقينه بأن هذا التهافت لا بد أن يحدث إذا لم يكن في هذا العالم سوى عدد منته من النجوم موزَّعة في منطقة منتهية من الفضاء. لكنه حسب أن هذا التهافت لا يمكن أن يحدث إذا كان عدد النجوم لا متناهياً في الكبر وكانت موزعة على مناطق فضاء لا متناهي الاتساع توزعاً سوياً أو شبه سوي، لأن العالم يفتقر عندئذ افتقاراً معدماً إلى المنطقة المركزية الواحدة التي يتجه التهافت نحوها.

نحن هنا أمام نموذج من الفخاخ التي نصادفها عندما نتعامل مع اللامتناهيات. فكل نقطة في عالم لا متناهي الاتساع يمكن أن تعتبر نقطة مركزية، لأن كل نقطة منه تكون محوطة بعدد لا متناه من النجوم حولها. إن تناول هذا الموضوع بشكل صحيح ـــ وهذا لم يحدث إلا مؤخراً جداً ـــ يقضي بأن نأخذ في الحسبان الحالة المنتهية التي تنطوي على نجوم تتساقط بعضاً على بعض، وأن نبحث عن كيفية تطور الأمور عندما ندخل في الحساب نجوماً أخرى

موزعة خارج تلك المنطقة توزعاً سوياً تقريباً . إذ من المتوقع عندئذ ، بموجب قانون نيوتن ، أن لا تتسبب النجوم الإضافية وسطياً بأي فرق ، وأنها لا بد أن تتساقط كلها بأسلوب سواها . ومهما كان عدد النجوم التي نضيفها تباعاً فإنها ستتهافت كلها بعضاً نحو بعض . ونحن نعلم اليوم أن من المستحيل أن نخترع نموذجاً سكونياً لعالم منته يسود فيه على الدوام تثاقل تجاذبي .

من المهم أن نلاحظ هنا أن المناخ الفكري العام الذي سبق القرن العشرين لم يُتح لأحد أن يفكر بأن العالم يمكن أن يتوسع أو أن يتقلص . فقد كان من المقبول عموماً أن العالم كان موجوداً منذ الأزل في حالة سرمدية ، أو أنه كان قد خُلق في لحظة معينة تماماً من الماضي في شكل يشبه ، قليلاً أو كثيراً ، الشكل الذي هو عليه اليوم . ويمكن أن نعزو بعض هذا التفكير إلى النزوع البشري نحو الاعتقاد بوجود حقائق خالدة ، كما يمكن أن نعزوه إلى الارتياح الذي يشعر به الإنسان عندما يعتقد ، وهو المخلوق الفاني ورغم كر العصور ، أن العالم الذي صُنع من أجله يبقى ، هو ، خالداً ومماثلاً لنفسه على الدوام .

هذا حتى أن أولئك الذين اقتنعوا بأن نظرية التثاقل النيوتنية تُثبت أن العالم لا يمكن أن يكون سكونياً لم يفكروا باقتراح التوسع . بل إنهم حاولوا ، بدلاً من ذلك ، أن يعدِّلوا النظرية بأن جعلوا القوة التثاقلية تنافريةً على مسافة شاسعة . ولم يكن من شأن ذلك أن يغير بشكل محسوس التنبؤات بحركات الكواكب ، لكنه يبيح لهم توزعاً لا متناهياً لنجوم تظل في حالة توازن مستديم ـــ ذلك أن القوى التجاذبية السائدة بين النجوم المتجاورة تقابلها في الميزان القوى التنافرية الناجمة عن النجوم النائية . بيد أننا نعلم اليوم أن مثل هذا التوازن سيكون قلقاً ، ذلك أنه لو طرأ ، في منطقة ما ، تقارب ولو ضئيل بين نجومها لراحت قوى التجاذب فيما بينها تشتد بالتدريج إلى أن تتغلب على قوى التنافر فتستمر النجوم في التساقط بعضاً على بعض . ومن منظور آخر ، لو طرأ تباعد ضئيل فيما بين نجوم المنطقة لأدى إلى تغلب القوى التنافرية وإلى هروب النجوم بعضاً من بعض هروباً متفاقماً .

يُعزى عادة إلى الفيلسوف الألماني أولبرس H.Olbers ـــ الذي تناول هذه النظرية عام ١٨٢٣ ـــ اعتراض آخر على عالم لا متناه سكوني . والواقع أن العديد من معاصري نيوتن كانوا قد أثاروا المشكلة ، ولم تكن نشرة أولبرس أولى الحجج المعقولة التي سيقت ضد العالم

اللامتناهي السكوني، لكنها كانت أول نشرة ذاع صيتها. كانت المشكلة تبرز من المفارقة التالية: لو كان العالم سكونياً لا متناهياً لرأينا نجماً على كل خط ننظر في منحاه إلى السماء؛ وعلى هذا كانت السماء ستبدو، ولو في الليل، مضيئة بمداها كله إضاءة قرص الشمس في رابعة النهار. تتلخص فكرة أولبرس في أن ضوء النجوم النائية لا بد أن تضعف شدته وهو يصادف في طريقه إلينا مواد تمتصه. لكن لو كان الأمر هكذا لسخنت المادة الماصة تدريجياً ولانتهى بها التسخين على مدى الزمن إلى التوهج بلمعان يضاهي لمعان النجوم. ولتجنب الوقوع في تناقض مع الواقع (يجب أن تكون سماء الليل كلها مضيئة كقرص الشمس) لا يبقى أمامنا سوى أن نقبل بأن النجوم لم تكن لماعة منذ الأزل بل أنها اشتعلت في وقت معين من الماضي. وعلى هذا ربما تكون المادة الماصة المعترضة لم تبلغ بعد من السخونة حد التوهج، أو أن ضوء النجوم النائية لم يصلنا حتى الآن. وسواء كان الواقع هذا أو ذاك فلا بد من البحث عن السبب الأولي لاشتعال النجوم.

إن مسألة ولادة هذا العالم قد طُرحت منذ زمن وأثارت نقاشاً طويلاً. ففي بعض التعاليم القديمة، وبموجب تقاليد اليهودية والمسيحية والإسلام، وُلد العالم في لحظة معينة من ماض غير بعيد جداً. وهناك، لصالح ولادة من هذا القبيل، الشعور بأن لا بد من «سبب أول» لوجودنا (إنك تستطيع، في عالم قائم، أن تشرح أي حدث بالاعتماد على حدث سابق: لكن وجود العالم نفسه لا يمكن أن يُشرح بهذه الطريقة ما لم يكن له بدء). وفي كتاب سنت أوغستان، *مدينة الله*، حجة أخرى تدعو إلى تذكر أن الحضارة تتقدم وأننا نتذكر أولئك الذين قاموا بعمل رائع أو صنعوا تقنية معينة. وبذا ما كان يمكن للإنسان، وربما للعالَم أيضاً، أن يكون قد وجد منذ زمن أطول بكثير. ويقبل سنت أوغستان بأن العالم قد خُلق قبل المسيح بـ ٥٠٠٠ عام، وهو التاريخ الوارد في سفر التكوين. (يجدر بنا أن نلاحظ أن هذا ليس بعيداً عن تاريخ الحقبة الجليدية الأخيرة التي انتهت قبل المسيح بـ ١٠٠٠٠ عام، وهو التاريخ الذي يقول علماء الآثار إنه نقطة الانطلاق الحقيقية لحضارتنا).

كان أرسطو، كغالبية فلاسفة اليونان، لا يحب فكرة الخلق لأنها تنطوي على مداخلة ربانية. فكان يعتقد إذن أن الجنس البشري والعالم المحيط به كانا موجودين منذ الأزل وسيوجدان إلى الأبد. ولم يتنازل القدماء قط عن حجة التقدم المذكورة قبل قليل: كانت

تعاليمهم تجيب بأن الطوفانات وكوارث أخرى كانت تعيد الجنس البشري، دورياً وفي كل مرة، إلى نقطة الانطلاق.

أما المسائل المتعلقة بولادة هذا العالم في الزمان وبمحدوديته في المكان فقد تناولها بعد ذلك الفيلسوف كنط E.Kant في كتابه الضخم (والغامض جداً)، *نقد العقل الصرف*، المنشور عام ١٧٨١. لقد أطلق كنط على هذه المسائل اسم «متضادات» antinomies (أي تناقضات) العقل الصرف، لأن هذا الفيلسوف كان يرى أنه يوجد، لدعم مقولة عالم بدأ ذات يوم، من الحجج ــ التي لا تدحض ــ بمقدار ما يوجد لدعم المقولة المضادة في عالم موجود منذ الأزل. كانت حجته لدعم المقولة هي: لو كان العالم غير ذي بدء لوجب وجود فترة زمنية لا متناهية الكبر تسبق كل حدث، وهذا ما يعتبره منافياً للعقل؛ ولدعم المقولة المضادة كان يقول بأنه لو كان العالم ذا بدء لكان قبل هذا البدء زمن لا متناهي الكبر ولما كان هناك سبب لولادة العالم في لحظة ما. الواقع أن المقولة والمقولة المضادة هاتين شيء واحد بالضبط. ذلك أن كلتيهما تعتمدان (وإن لم يقل كنط ذلك بصراحة) على افتراض زمن ممتد نحو الماضي بلا نهاية، سواء كان العالم موجوداً منذ الأزل أم لا. والزمن، كما سنرى، كلمة لم يكن لها أي معنى قبل ولادة العالم؛ وكان سنت أوغستان أول من انتبه إلى ذلك. فهو عن سؤال «ماذا كان الله يعمل قبل أن يخلق العالم؟» لم يجب بالرد الساخر المأثور: «كان يُعد جهنم لأولئك الذين يطرحون مثل هذه الأسئلة.» بل كان يفضل أن يقول إن الزمن خاصية من خصائص العالم الذي خلقه الله ولم يكن له قبل ذلك وجود.

عندما كان الناس يعتقدون بعالم سكوني الأساس لا يحول، لم تكن مسألة ولادته أو عدمها تهم أحداً غير الغيبيين (الميتافيزيائيين) ورجال الدين. وقد كان بالإمكان تفسير ما شوهد منه بكلتا النظريتين سواءً بسواء: نظرية أنه كان موجوداً على الدوام منذ الأزل ونظرية أنه انبثق خلقاً في لحظة معينة وعلى صورة يظهر فيها أنه كان موجوداً على الدوام. لكن إدوين هبل E.Hubble رصد عام ١٩٢٩ ظاهرة حاسمة: إن المجرات النائية تهرب شاردة أياً كان موقعها منا في نواحي السماء. أي بتعبير آخر، أن العالم في حالة توسع، وقد كانت أجرامه أقرب بعضاً إلى بعض. وبصريح العبارة يبدو أن كل ما نرى في العالم اليوم كان في وقت ما، مضى عليه الآن قرابة عشرة مليارات سنة أو عشرين، مجتمعاً في موضع واحد وأن كثافته

كانت إذن هناك لا متناهية في الكبر. لقد كان هذا الاكتشاف حدثاً نقل أخيراً مسألة ولادة العالم من مضمار التكهنات إلى مضمار العلم.

وبمختصر العبارة نقول: إن مشاهدات هَبْل تعني ضمنياً وجود لحظة من الماضي السحيق، أسماها العلماء «الانفجار الأعظم Big Bang»، كان فيها العالم لامتناهياً في الصغر وكانت كثافته لا متناهية في الكبر. وفي مثل هذه الظروف كانت قوانين الفيزياء معطلة وبالتالي عاجزة عن استشفاف المستقبل. وسواء وجدت قبل تلك اللحظة أحداث أم لم توجد، فليس من شأن هذه الأحداث أن تؤثر فيما يطرأ على زمننا هذا. فنحن إذن نستطيع أن نتجاهلها لانعدام آثارها تماماً في نتاج أرصادنا. وعلى هذا يمكن القول بأن بدء الزمن هو الانفجار الأعظم، بمعنى أننا لا نرى أي تعريف محكم لزمن **كان** قبل تلك اللحظة. ومن الواضح، وهذا ما يجب أن لا ننساه، أن هذا البدء في الزمن مختلف عن كل البدايات التي طُرحت قبل الآن. ففي عالم لا يحول، يكون بدء الزمن شيئاً يمليه كائن موجود في خارج العالم، ولا حاجة بالفيزياء بعدئذ أبداً إلى مثل هذه البداية. ويمكن أن نتصور أن الله خلق العالم في أية لحظة من الماضي، وبالمعنى الحرفي لكلمة الخلق. ونستطيع أيضاً أن نتخيل أن الله خلقه في لحظة الانفجار الأعظم، أو حتى بعدها، في هيئة تشبه التي كان سيتخذها العالم لو كان قد حصل انفجار أعظم؛ لكننا لا نرى معنى لافتراض أن يكون الله قد خلق العالم **قبل** الانفجار الأعظم. إن العالم المتوسع لا ينفي وجود خالق لكنه يعني وجود لحظة من الماضي أنجز فيها الخالق ما خلق!.

الآن، وقبل أن ندخل في مناقشة طبيعة العالم وفي مسائل تخص بدايته ونهايته، لا بد من أن نفهم جيداً ما نعنيه بعبارة نظرية علمية. لنتأمل في الرأي الساذج القائل بأن النظرية هي نموذج للعالم (أو لجزء محدود منه) ومجموعة قواعد تحوك علاقات بين الكميات التي تنبثق عن النموذج وتلك التي تنبثق عن عمليات الرصد. ليس للنظرية وجود إلا في ذهننا ولا يمكن أن تمتلك من صفات الحقيقة سوى هذه الصفة (مهما كان مغزاها). ولا تكون ذات قيمة إلا إذا استجابت للشرطين التاليين: أن تقدم أوصافاً تتفق بالضبط مع صنف واسع من الأرصاد على أساس نموذج لا يحوي سوى بضعة عناصر اختيارية، وأن تصنع تنبؤات دقيقة تخص نتائج أرصاد مستقبلية. فنظرية أرسطو، مثلاً، التي تقول بأن كل شيء مصنوع من أربعة

عناصر: التراب والهواء والنار والماء، كانت بسيطة بما يكفي لاستنباط بعض الأوصاف المعروفة آنذاك، لكنها كانت عاجزة عن التنبؤ الدقيق. ونظرية نيوتن في التثاقل كانت هي الأخرى تعتمد على نموذج أكثر بساطة يقول بأن الأجسام تتجاذب بقوة متناسبة مع محتواها المادي، المسمى كتلة، ومع مقلوب مربع المسافة بين الجسمين؛ لكنها، على بساطتها، تتنبأ بحركات الشمس والقمر والكواكب بدرجة عالية من الدقة.

إن النظرية الفيزيائية تظل مؤقتة، بمعنى أنها ليست سوى فرضية: أي لا تستطيعون البرهان عليها أبداً. ولا يهم كثيراً عدد المرات التي تتفق فيها نتائج التجربة مع النظرية المعتمدة؛ فأنت لا تستطيع أن تؤكد أن نتيجة التجربة القادمة لن تناقض النظرية. كما أنك تستطيع أن تنبذ نظرية إذا وجدت أن تنبؤاتها لم تنسجم ولو مع تجربة واحدة. وتتميز النظرية الجيدة، كما يؤكد فيلسوف العلوم كارل بوبر C.Popper، بقدرتها على صنع عدد من التنبؤات التي يمكن مبدئياً أن ينقضها الرصد التجريبي أو أن يؤيدها. وتنتعش النظرية أكثر فأكثر كلما ازداد عدد التجارب الجديدة التي تتفق مع توقعاتها، فتزداد ثقتنا بها؛ لكنها لو اختلفت مرة مع نتيجة رصد جديد لوجب علينا أن نتخلى عنها أو أن نعدّل فيها. هذا من حيث المبدأ، لكنك تستطيع دوماً أن ترتاب في كفاءة الشخص الذي قام بالتجربة المتهمة.

كثيراً ما يحدث أن تكتشف أن النظرية الجديدة استمرار يتخطى بحق نظرية سابقة. فقد اظهرت مثلاً الأرصاد الدقيقة للكوكب عطارد فروقاً ضئيلة بين حركته الفعلية وبين ما تتنبأ به نظرية نيوتن الثقالية. وكانت نظرية النسبية العامة لأينشتاين تنبئ عن حركة مختلفة قليلاً عما تنبئ به نظرية نيوتن. ولما اتضح أن توقعات نظرية أينشتاين تتفق مع ما رُصد في حركة عطارد أصبح هذا الاتفاق أحد الشواهد الحاسمة على تفوق النظرية الجديدة. ومع ذلك ما نزال نستخدم نظرية نيوتن في ممارستنا اليومية لأن الفرق بين تنبؤاتها وتنبؤات النسبية العامة ضئيل جداً في الظروف القائمة حولنا عموماً (إن لنظرية نيوتن ميزة كبيرة في أنها أيسر تناولاً من نظرية أينشتاين).

إن ما نهدف إليه من ممارسة العلم هو أن نصل في النهاية إلى نظرية واحدة تصف العالم بكل ما نشاهده ونرصده فيه. بيد أن غالبية رجال العلم يقسمون الموضوع إلى

قسمين. هناك أولاً القوانين التي تشرح لنا كيف يتطور العالم بمرور الزمن (إذا علمنا كيف هو العالم في لحظة معينة ما، فإن القوانين تنبئنا كيف سيكون في اللحظة التالية.) وهناك ثانياً مسألة حالته في بدئه. ويرى بعضهم أن العلم يجب أن لا يهتم إلا بالجانب الأول من الموضوع، ويعتبرون أن مسألة الحالة البدئية للعالم هي من اختصاص الميتافيزياء والدين. وهم بذلك يريدون أن يقولوا إن الله، وهو الحاضر الخالد، أنفذ قدرته في إطلاق العالم حسب مشيئته. قد يكون الأمر كذلك، لكن قبول هذا الرأي يعني أن الله كان له أيضاً أن يطوره بشكل اختياري تماماً. لكن الظاهر أنه اختار أن يجعله يتطور بشكل منظم جداً، وفق قوانين معينة. فلماذا إذن لا يُعقل أن نفترض أيضاً وجود قوانين تحكم حالته البدئية؟.

لقد اتضح أن من الصعب جداً إدراك نظرية تصف العالم برمته. وبدلاً من ذلك يُلجأ إلى تجزئة المسألة وإلى اختراع عدد من النظريات الجزئية، وظيفة كل منها أن تصف وتتوقع صنفاً معيناً محدوداً من المشاهدات، وأن تستبعد آثار ما سواها من أمور أو أن تمثلها بسلاسل عددية بسيطة. ربما كان هذا التناول خاطئاً تماماً. إذ لو كان العالم يتأثر أساسياً بكل ما فيه فقد يستحيل علينا أن نقترب من الحل العام بطريقة معالجة أجزاء المسألة كلاً على حدة. غير أننا استطعنا فعلاً بهذه الطريقة أن نحرز تقدماً في بعض المجالات حتى الآن. وكمثال تقليدي نسوق مرة أخرى نظرية نيوتن الثقالية التي تقول لنا إن القوة التثاقلية بين جسمين لا تتعلق إلا بعدد واحد من خصائص الجسم، هو كتلته، وأنها مستقلة عن مكوناته التفصيلية. وعلى هذا لا نحتاج، عندما نحسب مدارات الكواكب حول الشمس، إلى نظرية في مكوِّنات هذه الأجرام وبنيتها.

يقدم العلماء اليوم أوصافاً للعالم نابعة من نظريتين جزئيتين أساسيتين، نظرية النسبية العامة ونظرية ميكانيك الكم. إنهما أعظم النظريات الكبرى نجاحاً من بين ما أُنجز في القرن العشرين. تهتم النسبية العامة بقوة التثاقل وببنية العالم في مداه الواسع أي بنيته في سلّم يذهب من بضعة كيلو مترات إلى مليون مليار مليار كيلو متر (واحد متبوع على يمينه بـ ٢٤ صفراً)، وهو المجال الذي استطعنا رصده حتى الآن. أما ميكانيك الكم فيهتم بما يحدث في سلّم صغير جداً جداً، من قبيل جزء من مليون جزء من السنتيمتر. لكن هاتين النظريتين مشهورتان مع الأسف بتناقضهما، فلا يمكن إذن أن تكونا، كلتاهما، صحيحتين

معاً . وأحد الجهود الجبارة التي تبذل في الفيزيا اليوم ، وهو أحد أعظم أهداف هذا الكتاب ، يتجه إلى البحث عن نظرية تحتويهما معاً ــ نظرية كمومية في التثاقل . لكننا لم ننعم بها بعد وما يزال بيننا وبين هذا الهدف طريق طويل . لكننا نعلم كثيراً من الخصائص التي يجب أن تتحلى بها . وسنرى في الفصول التالية كل ما نعرفه حتى الآن بخصوص النبوءات التي يجب على مثل هذه النظرية أن تُصدرها .

إذا كنتم تفكرون أن العالم ليس اعتباطياً بل محكوم بقوانين دقيقة ، يترتب عليكم في نهاية الأمر أن تركّبوا النظريات الجزئية معاً في نظرية موحدة تصف كل شيء في العالم . لكن البحث عن مثل هذه النظرية ينطوي على مفارقة أساسية . إذ أن الأفكار التي تنتمي إلى النظريات العلمية التي عرضناها أعلاه تفترض أننا كائنات عاقلة ، أحرار في رصد العالم كيفما نريد ، قادرون على استنباط نتائج منطقية انطلاقاً مما نرى . وفي مثل هذه الخطة يبدو معقولاً أن نعتقد أننا استطعنا أن نقترب أكثر فأكثر من القوانين التي تحكم عالمنا . لكن لو كان يوجد حقاً نظرية موحدة تماماً فمن المعقول أيضاً أنها تتحكم في كل أعمالنا . فهذه النظرية لا بد أن تتحكم إذن في ما يؤول إليه بحثنا عنها . فلماذا إذن تتيح لنا أن نتوصل إلى النتائج الجيدة بواسطة محاكاتنا ؟ أليس بإمكانها أيضاً أن تسوقنا إلى نتيجة سيئة ؟ أو إلى لا شيء بالمرة ؟ .

إن الجواب الوحيد الذي أستطيع إعطاءه بهذا الصدد يعتمد على مبدأ داروين في الانتقاء الطبيعي . والفكرة هي : يوجد ، في كل مجتمع كائنات حيةٍ قادرةٍ على التكاثر ذاتياً ، متغيراتٌ في المتاع الإرثي وفي ثقافة كل فرد . وهذه الفروق تعني أن بعض الأفراد سيكونون أكفأ من سواهم في استخراج النتائج الجيدة بخصوص العالم المحيط بهم ، وفي العمل على هذا الأساس . وسيكون لهؤلاء الأفراد حظ أكبر من حظ سواهم في البقاء وفي التكاثر ، وبالتالي تصبح نوعيات سلوكهم وتفكيرهم هي المسيطرة . ومن الأكيد أن ما نسميه ذكاءً واكتشافاً علمياً كان في الماضي مزيّة تتيح طول البقاء . لكننا لا نستطيع أن نجزم بأن هذا ما يزال صحيحاً حتى أيامنا هذه . إن مكتشفاتنا العلمية قادرة اليوم على تدميرنا . وحتى إذا لم يحدث ذلك فلن تضيف النظرية الموحدة كثيراً إلى حظنا في طول البقاء . ومع ذلك ، إذا استمر العالم في التطور على نحو نظامي ، يحق لنا أن نتوقع استمرار فعالية المهارات العقلية ، التي

حبانا بها الانتقاء الطبيعي ، في البحث عن نظرية موحدة تماماً ، وأن لا تقودنا إلى نتائج خاطئة .

لئن كانت النظريات الجزئية التي نملكها اليوم كافية للوصول إلى تنبؤات في كل الظروف عدا المتطرف منها ، إلا أنه يبدو من الصعب أن نبرر ، على صعيد الفائدة العملية ، البحث عن نظرية أساسية كبرى في هذا العالم (قد يجدر بنا ، مع ذلك ، أن نلاحظ أنه كان بالإمكان التذرع بحجج مماثلة ضد النسبية ونظرية الكم ، لكن هاتين النظريتين قادتا إلى الطاقة النووية وثورة الالكترونيات الدقيقة) . فقد لا تساعد النظرية الموحدة إذن في زيادة حظ بقاء الجنس البشري . وقد لا تغير شيئاً البتة في طراز حياتنا . لكن البشرية ، منذ فجر الحضارة ، لم تقف قط مكتوفة اليدين أمام ما جلّ عليها وما غمُض . لقد كانت دوماً تواقة إلى فهم أعماق ما يحدث في عالمها . ونحن ما نزال اليوم نشعر برغبة متجددة في معرفة لماذا نحن هنا ومن أين جئنا . وكفى بهذه الرغبة ، وهي قدر البشرية ، مسوغاً للاستمرار في هذا البحث . ألا يحق لنا أن نحاول فهم العالم الذي نعيش فيه فهماً صحيحاً ؟ .



المكــان والزمــان

إن معلوماتنا الحالية عن حركة الأجسام يعود تاريخها إلى غاليليو ونيوتن. وكان الناس قبل ذلك يعتنقون ما يقوله أرسطو بأن الحالة الطبيعية للجسم هي السكون وأنه لا يتحرك إلا بفعل قوة تجره أو تدفعه. ومن ذلك ينتج أن الجسم الثقيل يجب أن يسقط بأسرع من الجسم الخفيف لأن الأرض تسلط على الجسم الثقيل جذباً أشد.

كانت تعاليم أرسطو تؤكد أيضاً أن بإمكان الفكر وحده أن يجد كل القوانين التي تحكم العالم، ولا حاجة لإجراء عمليات رصد. وبسبب ذلك لم يبذل أحد، قبل غاليليو، جهداً لمعرفة إذا كانت الأجسام ذات الأوزان المختلفة تسقط حقاً بسرعات مختلفة. ويحكى أن غاليليو أثبت خطأ تعاليم أرسطو، وذلك بإسقاط أوزان مختلفة من قمة برج بيزا المائل. لا شك أن هذه الحكاية تكاد تكون غير صحيحة، لكن من المؤكد أن غاليليو قام بعمل ما، كأن يكون قد ترك كرات ذات أوزان مختلفة تتدحرج على منحدر أملس. وظروف هذه التجارب تشبه حالة أجسام تسقط شاقولياً، لكن المنحدر يتيح رصداً أسهل لأن سرعات الأجسام عليه أضعف. لقد بينَّت قياسات غاليليو أن كل الأجسام، مهما كان وزن الواحد منها، تعاني معدلاً واحداً في تزايد سرعتها أثناء الهبوط. فإذا تركتم مثلاً كرية تهبط منحدراً ينزل متراً واحداً بعد كل ١٠ أمتار، فإن هذه الكرية ستكتسب، في نهاية الثانية الزمنية الأولى، سرعة تساوي متراً واحداً في الثانية، وستكون سرعتها مترين في الثانية في نهاية الثانية الزمنية

الثانية، وهكذا دواليك مهما كان وزن الكرية. صحيح أن الجسم الثقيل يسقط عملياً بأسرع من الجسم الخفيف لكن هذا الفرق ناجم حصراً عن أن مقاومة الهواء تعوق حركة الجسم الخفيف أكثر، بدليل أنه لو كان الجسمان يعانيان من الهواء مقاومة ضئيلة[1] لسقطا بسرعة واحدة.

لقد اعتمد نيوتن على قياسات غاليليو لايجاد قوانين الحركة. ففي هذه القياسات يخضع الجسم المتدحرج دوماً إلى القوة نفسها (وزنه) التي يتجلى مفعولها بازدياد سرعته. وهذا دليل على أن الأثر الحقيقي للقوة هو، في كل الأحوال، تغيير سرعة الجسم لا مجرد تحريكه من السكون فحسب، كما كان يُظن في القديم. وهذا يعني أيضاً أن الجسم، عندما يصبح حراً من تأثير أية قوة، يستمر في الحركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم. لقد ورد إيضاح هذه الفكرة لأول مرة في كتاب نيوتن، *مبادئ الرياضيات*، الذي نشر عام ١٦٨٧، وتعرف باسم [قانون نيوتن الأول]. أما ما يحدث للجسم عندما تتسلط عليه قوة فيعرف باسم [قانون نيوتن الثاني]: إن الجسم يتسارع (تتغير سرعته باستمرار) بما يتناسب مع شدة القوة (مثال: من أجل قوة أشد بمرتين يكون التسارع أكبر بمرتين). كما أن التسارع يصبح أضعف إذا كانت كتلة الجسم (محتواه المادي) أكبر. (إذا أثرت القوة نفسها على جسم ذي كتلة أكبر بمرتين أصبح التسارع أصغر بمرتين). والسيارة مثال معروف: كلما كان المحرك أقوى كان التسارع أكبر؛ وكلما كانت السيارة أثقل كان التسارع أصغر، من أجل محرك واحد.

وبالإضافة لقوانين الحركة اكتشف نيوتن قانون القوة الثقالية: إن كل جسم يجذب كل جسم آخر بقوة متناسبة مع كتلة كل من الجسمين. أي أن القوة العاملة بين جسمين A و B تصبح أشد بمرتين إذا ضاعفنا كتلة أحد الجسمين (A مثلاً). وهذا ما يمكن أن نتوقعه إذا اعتبرنا أن الجسم الجديد A مؤلف من جسمين كتلة كل منهما تساوي الكتلة الأولية، فيجذب كل نصف الجسم B بقوة تساوي القوة الأولية، مما يجعل القوة الكلية العاملة بين A (الجديد) و B مساوية ضعفي القوة الأولية. وأخيراً، إذا أصبحت كتلة أحد الجسمين ضعفي قيمتها السابقة وكتلة الآخر ثلاثة أضعاف سابقتها، فإن الجسمين يتجاذبان بقوة أشد بست

(١) ذلك مثلاً شأن كريتين إحداهما من الحديد والأخرى من الخشب.

مرات مما كانت عليه. وبذلك نفهم الآن لماذا تسقط كل الأجسام (A) نحو الأرض (B) على منوال واحد (أي بسرعة واحدة إن شئت): لئن كان الجسم الأثقل بمرتين يعاني، من الأرض، قوة ثقالة أشد بمرتين إلا أن كتلته أكبر بمرتين (فتكون إستجابته لجذب الأرض أضعف بمرتين). وهذا يعني، بموجب قانون نيوتن الثاني، أن هذين المفعولين يتفانيان بالضبط والتمام، مما يجعل التسارع نحو الأرض واحداً في كل حال.

إن قانون نيوتن في الثقالة (أو التثاقل)[٢] يقول أيضاً: إن قوة التجاذب هذه تضعف كلما ازدادت المسافة بين الجسمين. وبتعبير أفصح: يصبح التجاذب الثقالي بين نجم وجسم مثلاً ربع ما كان عليه إذا أصبحت المسافة بينهما ضعفي ما كانت عليه. إن هذا القانون يتنبأ بمدارات الأرض والقمر والكواكب بدقة عالية. ولو كان يقول بأن قوة ثقالة النجم تتناقص بأسرع من ذلك مع المسافة لما كانت مدارات الكواكب إهليلجية، بل حلزونية متقاربة من الشمس. ولو كان التناقص أكثر بطئاً لتغلبت القوى الثقالية الآتية من النجوم على القوة الآتية من الأرض.

إن الفرق الكبير بين أفكار أرسطو وأفكار غاليليو ونيوتن يكمن في أن أرسطو كان يعتقد بحالة فضلى، هي السكون، يلتزم بها كل جسم حر من تأثير أية قوة جارة أو دافعة. وبصورة خاصة كان يعتقد أن الأرض ساكنة. لكن قوانين نيوتن تفيد بعدم وجود معيار أوحد للسكون. فنحن نستطيع أن نقول، سواءً بسواء، إن الجسم A ساكن والجسم B متحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لـ A، أو إن الجسم B ساكن والجسم A هو الذي يتحرك بالنسبة لـ B. فنستطيع مثلاً، لو ضربنا صفحاً عن دوران الأرض على نفسها وحول الشمس، أن نقول إن الأرض ساكنة والقطار يسير على سطحها نحو الشمال بسرعة ١٥٠ كيلو متراً في الساعة، أو أن نقول إن القطار ساكن والأرض متحركة نحو الجنوب بسرعة ١٥٠ كيلو متراً في الساعة. ولو كنا قد أجرينا، داخل هذا القطار، تجارب على سقوط الأجسام لرأينا أن قوانين نيوتن تنطبق بحذافيرها على هذه التجارب. ففي لعبة كرة الطاولة، مثلاً، تذعن الكرة في القطار

(٢) إن هاتين الكلمتين تعنيان شيئاً واحداً هو: تجاذب الأجسام بسبب محتوياتها المادية فقط. ثقالة Gravity، تثاقل Gravitation. «المترجم».

لقوانين نيوتن بالضبط والتمام كما تذعن لها حين نلعب في صالة النادي الرياضي. وهكذا لا نجد أية وسيلة لنقول أي الجسمين، القطار أو الأرض، هو الذي يتحرك.

إن عدم وجود أي معيار مطلق للسكون يعني أننا لا نستطيع، إذا كنا إزاء حادثين وقعا في لحظتين مختلفتين، أن نجزم بأنهما حدثا في موقع مكاني واحد. لنفترض مثلاً أن كرة الطاولة في القطار قد قفزت باتجاه الشاقول ثم عادت لتصدم الطاولة في الموضع نفسه بعد ثانية زمنية واحدة. فمن أجل إنسان واقف قرب السكة تبدو القفزتان مفصولتين بفارق مكاني من رتبة مئة متر، هي المسافة التي قطعها القطار في أثناء تلك الثانية. فعدم وجود سكون مطلق يعني إذن أننا لا نستطيع أن نعطي الحادث موقعاً مكانياً مطلقاً، بخلاف ما كان يظن أرسطو. إن مواقع الحوادث في المكان والمسافات فيما بينها تختلف إذن من الشخص الموجود في القطار إلى الشخص الموجود قرب السكة، ولا نرى سبباً **مبدئياً** لأن «نفضّل» هذه على تلك أو تلك على هذه.

لقد كان نيوتن مستاءاً جداً من عدم وجود معيار مطلق لمواقع الأحداث، أي ما نسميه مكاناً مطلقاً، لأن هذا لم يكن يتفق مع مفهومه عن **إله** مطلق. والواقع أنه رفض أن يقبله رغم أنه كان كامناً في أعماق قوانينه. وقد لقيت عقيدته هذه انتقاداً عنيفاً من عدد كبير من المفكرين، وخصوصاً من الأسقف بيركلي، وهو فيلسوف كان يعتقد أن الأشياء المادية كلها والمكان والزمان أوهام. وعندما علم الدكتور جونسون المشهور برأي بيركلي هتف قائلاً: «أنا أدحضه إذن!» وركل بقدمه حجراً كبيراً كان أمامه.

كان أرسطو ونيوتن يعتقدان كلاهما بوجود زمن مطلق، أي يعتقدان أن بالإمكان أن نقيس، دون غموض، الفترة الزمنية التي تفصل بين حادثين، وأن نتيجة القياس لا تختلف من شخص لآخر يقومان بعملية القياس، شرط أن يستخدم كل منهما ميقاتية جيدة. وكان الزمن في رأيهما منفصلاً ومستقلاً عن المكان. وهذا رأي ما زال أكثر الناس حتى اليوم يعتقدون بصوابه. لكننا اضطررنا إلى تعديل أفكارنا عن المكان والزمان. ورغم أن الأفكار القديمة، التي تبدو صحيحة، ما تزال معمولاً بها في حال سقوط التفاح والكواكب التي تتحرك ببطء نسبياً، إلا أنها ليست صالحة في حال أجسام تتحرك بسرعة الضوء أو نحوها.

إن الضوء يسير بسرعة محدودة، لكنها كبيرة جداً. وقد تم اكتشاف ذلك أول مرة عام ١٦٧٦ من قبل الفلكي الدانمركي رومر O.G.Roemer وذلك حين لاحظ أن فترات اختفاء أقمار المشتري خلف هذا الكوكب لم تكن متساوية، بخلاف ما كان يتوقع إذا كانت هذه الأقمار تدور حول كوكبها بسرعة ثابتة. إن الأرض والمشتري يدوران حول الشمس، والمسافة بين هذين الكوكبين تتغير. والذي لحظه رومر هو أن موعد خسوف أقمار المشتري يتأخر أكثر كلما ازدادت المسافة بينه وبين الأرض. وقد فسر هذا التأخير بأن ضوء تلك الأقمار يستغرق للوصول إلينا أزمنة متزايدة بازدياد المسافة بيننا وبين المشتري (والعكس بالعكس). ولما كانت قياسات هذه المسافات غير دقيقة عصرئذ وجد رومر بنتيجة حساباته أن سرعة الضوء تساوي مئتي ألف كيلو متر في الثانية تقريباً، في حين أن القياسات الحديثة تعطي ثلاثمئة ألف كيلو متر في الثانية. لكن انجازه هذا (إن رومر لم يثبت فقط أن الضوء يسير بسرعة محدودة بل قاس أيضاً هذه السرعة) كان عظيماً، وقد جاء قبل إحدى عشرة سنة من نشر كتاب نيوتن، *مبادئ الرياضيات*.

لكن النظرية الناجزة في انتشار الضوء لم تتم إلا عام ١٨٦٥ حين نجح الفيزيائي البريطاني مكسويل J.CMaxwell في توحيد نظريتين جزئيتين في القوتين: الكهربائية والمغنطيسية. كانت معادلات مكسويل تتنبأ بإمكانية حدوث اضطرابات تأخذ شكل موجة في الحقل الموحد الكهرطيسي، وأن هذه الاضطرابات تسير بسرعة معينة، كما تنتشر المويجات على سطح الماء. فإذا كان طول الموجة (أي المسافة بين قمتين متواليتين) الكهرطيسية من رتبة المتر أو أكثر فإننا نسميها اليوم الموجات الراديوية، والموجات الأقصر طولاً نسميها الموجات السنتيمترية (بضعة سنتيمترات)، أو تحت الحمراء (أكثر من جزء من ألف من السنتيمتر). أما الضوء المرئي فهو موجات كهرطيسية محصور طولها بين أربعين وثمانين جزءاً من مليون من السنتيمتر. أما الأطوال الموجية الأقصر فالأقصر فنسميها فوق البنفسجي والأشعة السينية وأشعة غاما gamma.

تتنبأ نظرية مكسويل بأن كل الأمواج الكهرطيسية، مهما كان اسمها، تسير في الخلاء بسرعة واحدة محدودة معينة تماماً. لكن نظرية نيوتن كانت قد تخلصت من فكرة السكون المطلق؛ وعلى هذا، وإذا كان مفترضاً في الضوء أن يسير بسرعة معينة، فلا بد من ذكر

الشيء الذي قيست بالنسبة له هذه السرعة. ولذلك اختُرعت هيولة، اسموها «الأثير»، موجودة في كل مكان، حتى في الفضاء «الخالي». فكانت الموجات، في رأيهم، تسير عبر الأثير كما تسير الأمواج الصوتية في الهواء، وسرعتها منسوبة إذن إلى هذا الوسط. وعلى هذا لو رصدها أناس مختلفون، متحركون بالنسبة للأثير حركات متفاوتة، لوجدوا إذن أن الضوء يسير باتجاههم بسرعات متفاوتة، لكن سرعة الضوء بالنسبة للأثير تبقى ثابتة. فسرعة الضوء بالنسبة للأرض مثلاً، وهي ذات حركة في الأثير على مدارها حول الشمس، لا بد أن تكون أكبر، عندما يتجه الضوء في عكس جهة حركة الأرض في الأثير (أي عندما يكون الراصد، الذي يقيسها، متحركاً باتجاه مصدر الضوء)، منها عندما يتجه الضوء عمودياً على حركة الأرض (أي عندما لا يكون الراصد متحركاً نحو مصدر الضوء). لكن مايكلسون A.Michelson (الذي أصبح بعدئذ أول أمريكي حاز على جائزة نوبل في الفيزياء) أجرى عام ١٨٨٧، بالاشتراك مع مورلي E.Morley، تجربة دقيقة جداً في مدرسة العلوم التطبيقية في كليفلاند. وقد قارنا سرعة الضوء على منحى حركة الأرض بسرعته عمودياً على منحى هذه الحركة، فاصابتهما دهشة كبيرة عندما وجدا، في الحالين، قيمتين متساويتين بالضبط والتمام.

لقد جرت، بين عامي ١٨٨٧ و١٩٠٥، عدة محاولات نخص بالذكر منها محاولة الفيزيائي الهولندي لورنتز H.Lorentz لتفسير نتيجة تجربة مايكلسون ــ مورلي على أساس تقلص المسافات وتباطؤ الميقاتيات أثناء السير في الأثير. لكن ألبرت أينشتاين، وكان قبل ذلك التاريخ موظفاً مغموراً في مكتب براءات الاختراع في سويسرا، أصدر عام ١٩٠٥ نشرة يبرهن فيها على إمكانية الاستغناء عن فكرة الأثير إذا تقرر التخلي عن فكرة الزمن المطلق. وبعد بضعة أسابيع أبدى الرياضي الفرنسي الكبير بوانكاريه H.Poincaré ملاحظة مماثلة. ولما كانت حجج أينشتاين ذات طبيعة فيزيائية أوضح من حجج بوانكاريه ــ الذي تناول المشكلة من زاوية رياضية ــ فقد عُزيت هذه النظرية عموماً إلى أينشتاين، لكننا يجب أن لا ننسى أن اسم بوانكاريه لاصق بجزء مهم من النظرية، التي عرفت بعدئذ باسم نظرية النسبية.

تقول الفرضية الأساسية في نظرية النسبية بأن قوانين الفيزياء تبقى كما هي تماماً لدى أي راصد متحرك حراً من أية قوة، مهما كانت قيمة سرعته. كان هذا القول ينطبق على

قوانين نيوتن الحركية، لكن فكرته امتدت بعد ذلك حتى شملت نظرية مكسويل وسرعة الضوء: إن المراقبين الذين يقيسون سرعة الضوء سيجدون لها القيمة نفسها مهما كانت سرعة أي واحد منهم. إن هذه الفكرة البسيطة ذات نتائج مهمة قد يكون أشهرها التكافؤ بين الكتلة والطاقة، وهو ما تختصره معادلة اينشتاين الشهيرة $E = mc^2$ (حيث E هي الطاقة Energy و m الكتلة mass و c سرعة celerity الضوء في الخلاء) والقانون القائل بأن لا شيء يتحرك بأسرع من الضوء. فمن تكافؤ الكتلة والطاقة ينتج أن الطاقة التي يملكها الجسم من جراء حركته تزيد في كتلته، مما يزيد إذن في صعوبة تسريعه؛ لكن هذا المفعول لا يُحس به عملياً إلا في سرعات قريبة من سرعة الضوء. فمن أجل سرعة تساوي ١٠٪ من سرعة الضوء لا تزداد كتلة الجسم إلا بمقدار ٠٫٥٪ من قيمتها وهو ساكن (بالنسبة للراصد الذي يقيسها)، في حين أنها تبلغ ضعفيها حين تصبح السرعة ٩٠٪ من سرعة الضوء. وعندما تقترب السرعة كثيراً من سرعة الضوء تزداد كتلة الجسم بمعدل أكبر فأكبر، فيستدعي تسريعه طاقة تتعاظم بشدة، لكنه لن يبلغ في الواقع أبداً سرعة الضوء لأن كتلته تصبح لا نهائية الكبر فتستلزم، بموجب تكافؤ الكتلة والطاقة، صرف طاقة لا متناهية الكبر لبلوغ سرعة الضوء. وهكذا تحتم نظرية النسبية على الأجسام العادية أن لا تتحرك أبداً بأسرع من الضوء. فالضوء وحده، أو ما كان مثله عديم الكتلة أصلاً، يستطيع أن يبلغ هذه السرعة.

وهناك، في نظرية النسبية ومما لا يقل أهمية عن ذلك، الثورة التي بذرتها في أفكارنا بخصوص المكان والزمان. ففي نظرية نيوتن، وعندما تنطلق إشارة ضوئية من موضع لآخر، يتفق كل الراصدين على قيمة واحدة للزمن الذي تستغرقه في هذه السفرة (لأن الزمن مطلق في هذه النظرية)، لكنهم لا يتفقون دوماً على قيمة المسافة المكانية التي تقطعها (لأن المكان غير مطلق). وعلى هذا، وبما أن سرعة الضوء ليست سوى حاصل قسمة المسافة المكانية التي يقطعها على الزمن الذي يستغرقه لقطعها، كان يجب على شتى الراصدين أن يقيسوا للضوء سرعات متفاوتة القيمة. لكن النسبية تقول، خلافاً لذلك، بأن كل الراصدين سيتفقون على قيمة واحدة لسرعة الضوء، الأمر الذي يستدعي، بسبب عدم اتفاقهم على المسافة المقطوعة، أن يكونوا غير متفقين على المدة اللازمة لقطعها. (إن هذه المدة ليست، بعد كل شيء، سوى حاصل قسمة المسافة التي يقطعها الضوء ـــ وهم فيها مختلفون ـــ على سرعة الضوء ـــ

وهم عليها متفقون). وبصريح العبارة نقول: إن نظرية النسبية قد وضعت حداً لمقولة الزمن المطلق! وبذلك تبيَّن أن كل راصد لا بد أن يكون له قياس للزمن خاص به يقرؤه على ميقاتية يحملها معه، وأن الميقاتيات المتماثلة (المتزاملة في دوران عقاربها) تماماً، التي بحوزة راصدين مختلفين، لن تشير كلها إلى زمن واحد.

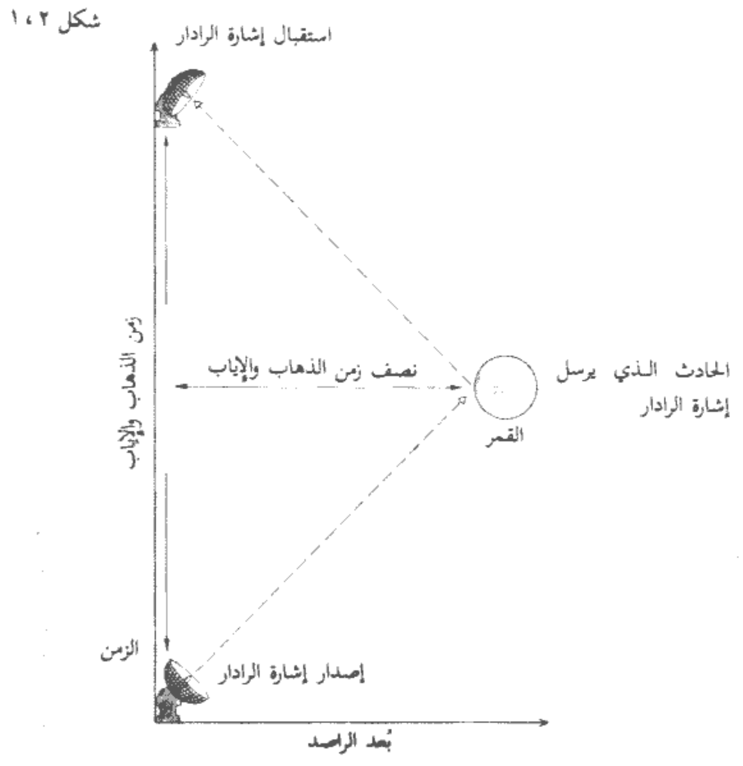
إن على كل راصد أن يتسلح بجهاز إرسال يستخدمه كي يعلم أين حدث الحادث ومتى، وذلك بإرسال إشارة ضوئية خاطفة أو موجات راديوية. إن جزءاً من الإشارة سيتجه نحو الحادث وسيقيس الراصد الزمن الذي ينقضي فور أن يستلم صدى هذه الإشارة (انعكاسها إليه) العائد إليه. إن زمن الحادث معروف بأنه نصف الزمن الذي مرَّ بين لحظة انطلاق الإشارة ولحظة استقبال ما انعكس منها، أما بُعد الحادث عن الراصد فهو نصف حاصل ضرب (سنقول جداء) سرعة الضوء بالزمن الذي استغرقه الذهاب والإياب معاً (إن الحادث، بهذا المعنى، هو شيء وقع في نقطة وحيدة من الفضاء وفي لحظة محددة في الزمان). إن هذه الفكرة موضحة في الشكل (٢، ١) الذي نتخذه نموذجاً لما نسميه البيان المكاني ـــ الزماني[٣]. وباستخدام هذه الطريقة سينيط الراصدون، المتحركون بعضاً بالنسبة لبعض، بالحادث الواحد أزمنة ومواضع مختلفة. ولن يكون قياس أي من الراصدين أصح من قياس أي راصد آخر، لأن كل القياسات نسبية. وبامكان أي راصد أن يجد بالحساب الدقيق الزمن والموضع اللذين يجدهما أي راصد آخر، شرط أن يعرف سرعته بالنسبة له.

نستخدم هذه الطريقة اليوم لقياس المسافات بالضبط لأننا نستطيع قياس الزمن بأدق من قياس الطول. فالواقع أن المتر معرف بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في أثناء ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٣٣٣٥٦٤٠٩٥٢ ثانية مقيسة على ميقاتية تعمل بالسيزيوم. (إن سبب اختيار هذا العدد يعود إلى اتفاقه مع التعريف التاريخي للمتر: المسافة بين علامتين على قضيب من البلاتين محفوظ في باريز) وبما يكافئ ذلك نستطيع استخدام وحدة طول جديدة عملية أكثر، تسمى الثانية الضوئية، ونعرِّفها اطلاقاً بأنها المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة. ففي نظرية النسبية نعرِّف اليوم المسافات بلغة الزمن وسرعة الضوء، وبذلك ينتج آلياً أن كل راصد سيجد لسرعة الضوء قياساً واحداً معيناً (هو حاصل قسمة ١ متر على

(٣) يحلو لبعضهم أن يقولوا «الزمكاني» وسنعتمد هذا الدمج دفعاً لكل التباس. «المترجم».



شكل ٢، ١



يمثل المحور الشاقولي مرور الزمن، ويمثل المحور الأفقي بُعد الراصد. إن مسار الراصد عبر المكان والزمان يتمثل بالخط الشاقولي الأيسر. أما مسار الأشعة الضوئية (أو الرادارية)، نحو الحادث ومنه عبر المكان والزمان، فهو جملة القطرين.

٢٥٩٠٤٦٥٣٣٣٠٠٠٠٠٠٠٠٠ر٠ ثانية). ولم يعد بنا حاجة إلى فكرة أثير لم نستطع في أي من الأحوال اكتشاف وجوده، بدليل نتيجة مايكلسون ـــ مورلي. لكن نظرية النسبية تجبرنا، في مقابل ذلك، على أن نعدِّل جذرياً أفكارنا عن المكان والزمان، فنقبل أن الزمن غير منفصل كلياً عن المكان وغير مستقل عنه، لكنه يتحد معه فيشكلان، سوية، شيئاً نسميه «الزمكان».

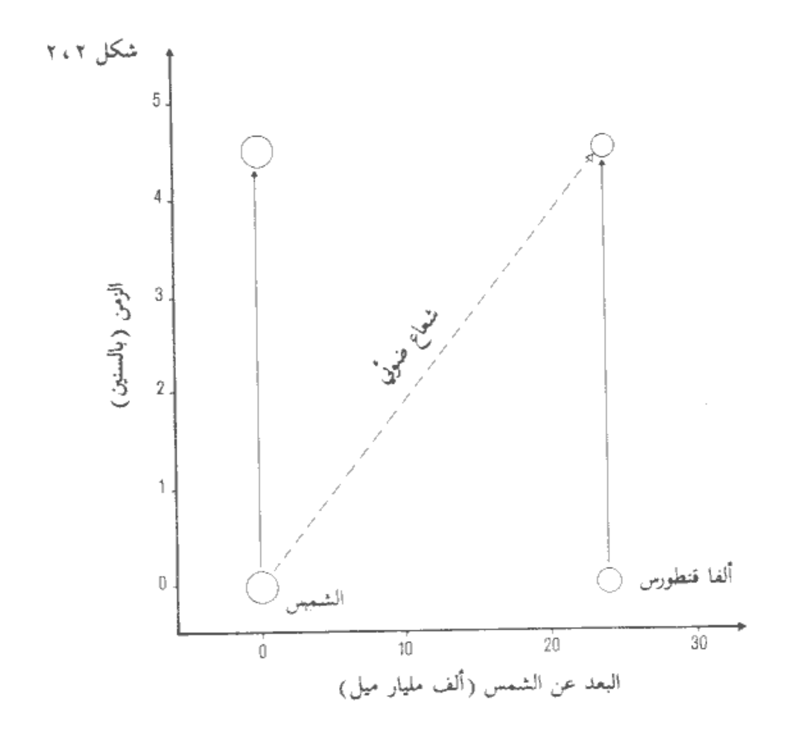
نعلم أننا نستطيع تعيين موضع نقطة في الفضاء بفضل ثلاثة أعداد. نقول مثلاً إن النقطة في الغرفة تبعد مترين عن هذا الجدار ومتراً واحداً عن الجدار المجاور له ومتراً ونصفاً فوق الأرض. كما يمكن أن نقول عن نقطة إنها تقع على خط العرض الأرضي كذا وخط الطول كذا

وعلى الارتفاع كذا عن سطح البحر . ونحن أحرار في استخدام أية جملة إحداثيات ملائمة ، رغم أن بعضها قد لا يكون مجدياً أحياناً : فلا نستطيع مثلاً أن نحدد وضع القمر بشمال أو جنوب أو بالارتفاع عن سطح البحر ، وبدلاً من ذلك يكون من الأيسر أن نعيِّن هذا الوضع بدلالة البعد عن الشمس والبعد عن مستوي مدارات الكواكب وبالزاوية بين المستقيم الذي يصل القمر بالشمس والمستقيم الذي يصل الشمس بأحد النجوم القريبة. لكن هذه الإحداثيات لا تجدي كثيراً في تعيين موقع الشمس في مجرتنا ولا موقع مجرتنا ضمن مجموعة مجرات محلية . الواقع أن بالإمكان توصيف العالم كله وفق شبكات مرجعية متداخلة نستطيع أن نستخدم من كل منها مجموعة ثلاثة إحداثيات مختلفة لتحديد موضع نقطة ما .

إن الحدث شيء يقع في نقطة معينة من الفضاء وفي لحظة معينة . وبذلك نستطيع أن نحدد الحدث بأربعة أعداد ، أو إحداثيات . وهنا أيضاً لنا حرية الاختيار ؛ فنستطيع اختيار أية مجموعة إحداثيات مكانية ملائمة وأي إحداثي قياسي زمني . ولا يوجد في النسبية ما يميز حقاً الإحداثي المكاني عن الإحداثي الزمني ، كما لا يوجد فرق أساسي بين إحداثيين مكانيين . وليس في الأمر ما يمنع اختيار مجموعة إحداثية جديدة يكون فيها الإحداثي المكاني الأول الجديد تركيباً من إحداثيين ، الأول والثاني مثلاً ، في مجموعة قديمة . فبدلاً من أن نعيِّن مثلاً موضع نقطة من سطح الأرض بالكيلومترات إلى الشمال وبالكيلومترات إلى الشرق من ميدان بيكاديلي ، نستطيع تعيينها بالكيلومترات إلى الشمال الشرقي وبالكيلومترات إلى الشمال الغربي من الميدان نفسه . وبالأسلوب نفسه نستطيع ، في النسبية ، استخدام إحداثي زمني جديد مركب من الزمن القديم (بالثانية) مضاف إليه المسافة (بالثانية الضوئية) إلى الشمال من بيكاديلي .

إن من الأسلم غالباً أن نفكر في إحداثيات الحادث الأربعة على أساس أنها تحدده في فضاء ذي أربعة أبعاد هو الزمكان . إن من المستحيل تخيل فضاء ذي أربعة أبعاد ، وأنا شخصياً أجد صعوبة في إبصار فضاء ذي ثلاثة أبعاد ! ومن السهل رسم بيانات في بعدين ، كحال سطح الأرض (يقال إن سطح الأرض ذو بعدين لأن بالإمكان تعيين موضع نقطة عليه بإحداثيين اثنين ، خط الطول وخط العرض) وسأستخدم عموماً بيانات يتزايد فيها الزمن وفق خط شاقولي صاعد ، وأحمل أحد الإحداثيات المكانية على مستقيم أفقي ، أما

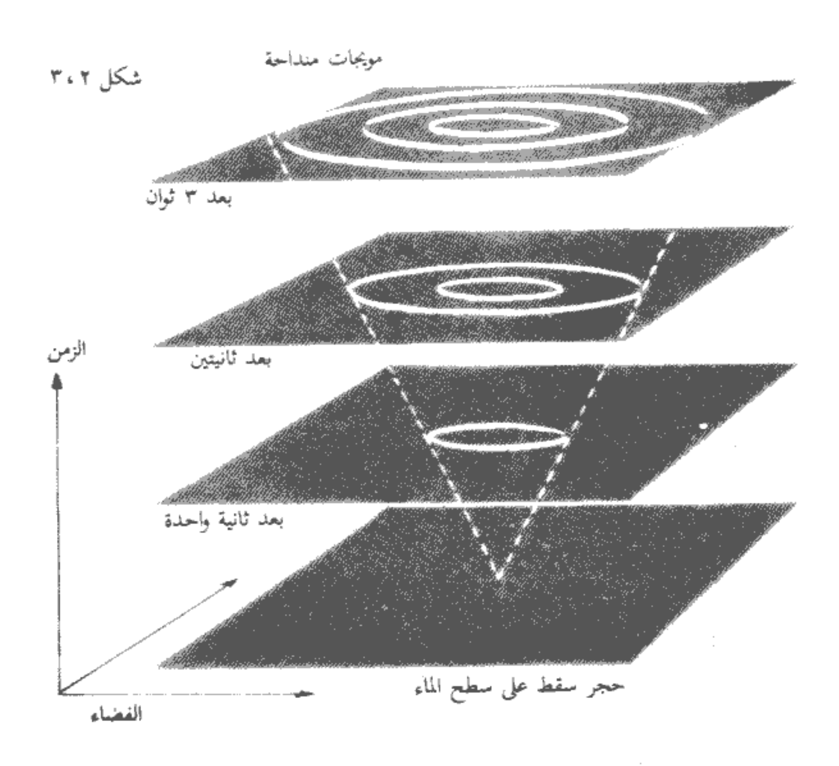


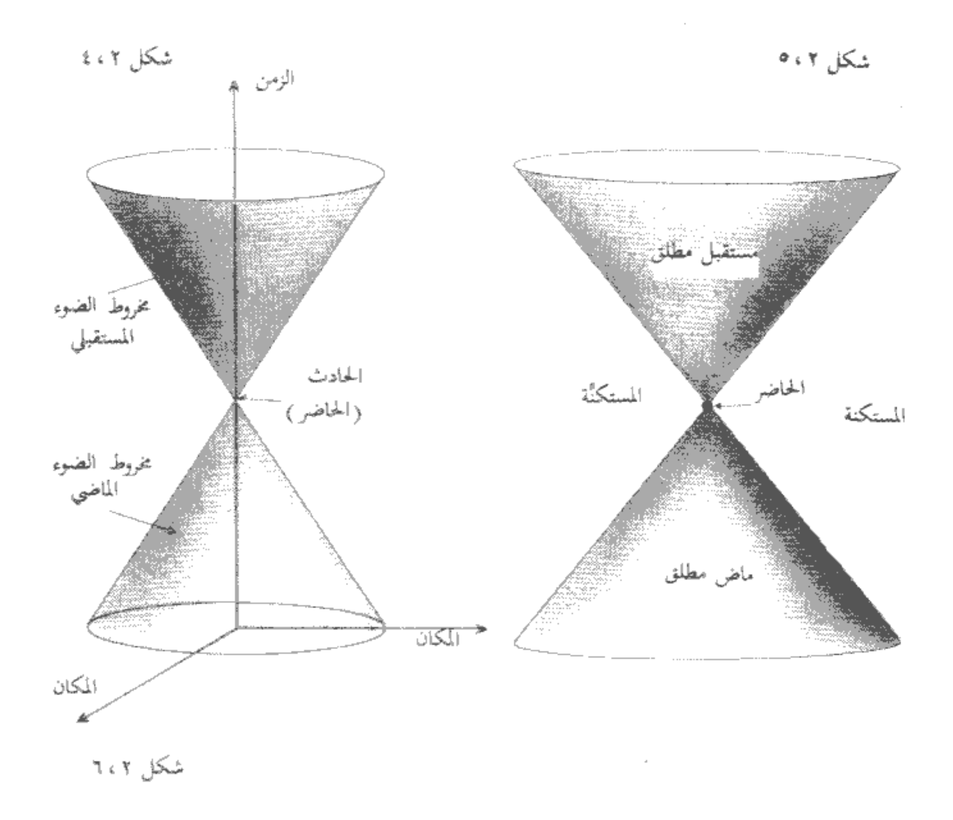


الآخران فسأهملهما، أو أُمثلهما برسم منظوري. (ونسميها بيانات زمكانية، كما في الشكل ٢ ، ١). فالزمن، في الشكل ٢ ، ٢ مثلاً، مقيس شاقولياً بالسنين، والمسافة على المستقيم الواصل بين الشمس والنجم ألفا في كوكبة قنطورس Centauros مقيسة أفقياً بالأميال. فيتمثل مسار الشمس ومسار ألفا، عبر الزمكان، بخطين شاقوليين على يمين البيان ويساره. ويمثل القطر المرسوم بخط متقطع مسار شعاع ضوئي يذهب من الشمس ويستغرق أربع سنوات ونيّف للوصول إلى ألفا.

ذكرنا أن معادلات مكسويل تتنبأ بأن سرعة الضوء يجب أن لا تختلف باختلاف سرعة المنبع، وأن ذلك قد ثبت بالقياسات التجريبية. ينتج من ذلك أنه إذا صدر برق ضوئي، في لحظة معينة من نقطة معينة من الفضاء، فإن هذا البرق يتوسع بمرور الزمن ككرة ضوئية ذات حجم وموقع مستقلين عن سرعة المنبع. فبعد واحد من مليون من الثانية يكون الضوء قد توسع حتى احتل سطح كرة نصف قطرها ثلاثمئة متر؛ وبعد اثنين من مليون من الثانية

يصبح نصف قطر هذه الكرة ستمئة متر ، وهكذا على شاكلة توسع الموجة التي تنشأ على سطح بحيرة ألقيت فيها حصاة ، فترى مويجة تأخذ شكل دائرة تتوسع بمرور الزمن . ولو فكرت أن تمثل هذا المشهد بنموذج ذي ثلاثة أبعاد تتألف من سطح البحيرة ذي البعدين والزمن كبعد ثالث فسترى (شكل ٢ ، ٣) أن تلك الدائرة تصبح مخروطاً تقع ذروته عند نقطة سقوط الحصاة وفي لحظة اصطدامها بسطح الماء . وعلى غرار ذلك يمكن أن نستنتج أن الضوء الصادر عن الحدث يشكل مخروطاً ذا ثلاثة أبعاد في الزمكان ذي الأبعاد الأربعة . ويدعى هذا المخروط باسم « مخروط الضوء المستقبلي » للحدث . وبهذا الأسلوب نستطيع رسم مخروط آخر ، يدعى « مخروط الضوء الماضي » ، يمثل مجموعة الحوادث التي يمكن أن يصل منها برق ضوئي إلى الحادث الذي نحن بصدده (شكل ٢ ، ٤) .

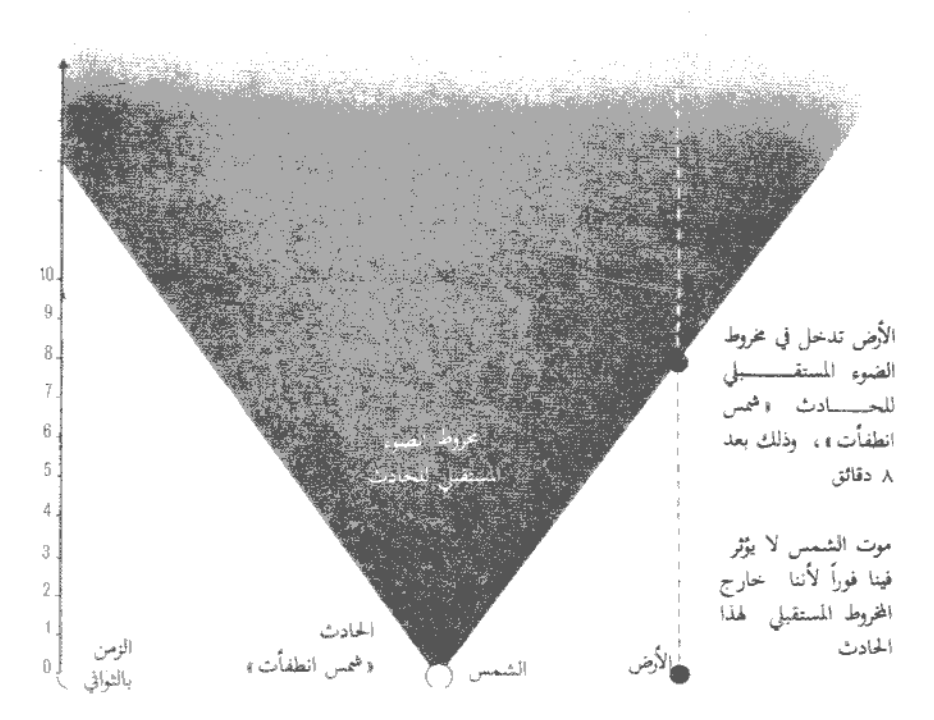




شكل ٢، ٤

شكل ٢، ٥

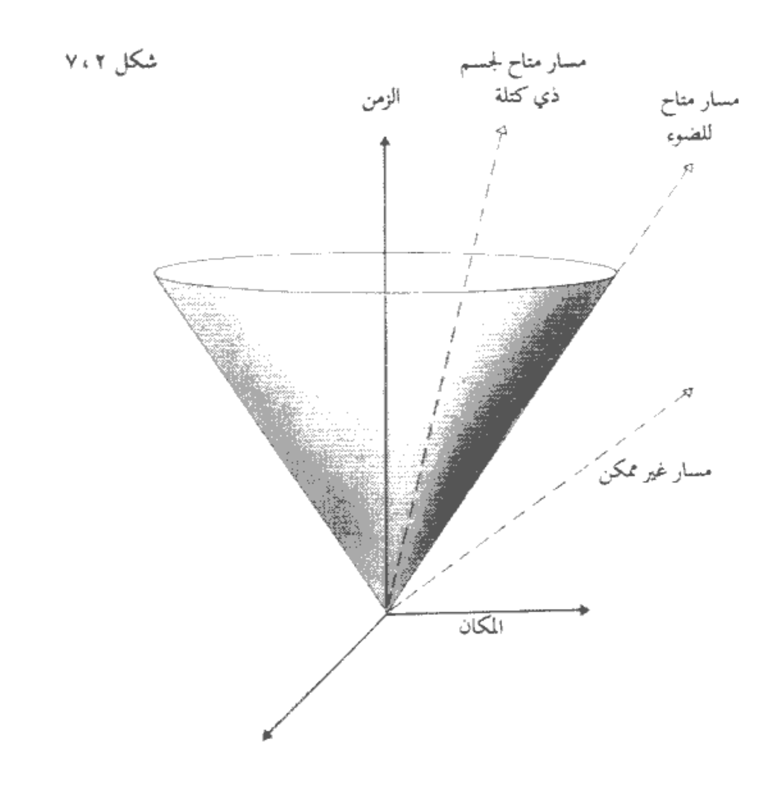
شكل ٢، ٦



إن مخروطي الضوء، الماضي والمستقبلي، لحادث P يقسمان الزمكان إلى ثلاث مناطق (شكل ٢، ٥). منطقة «المستقبل المطلق» للحادث: وهي المنطقة الواقعة ضمن مخروط الضوء المستقبلي لـ P؛ إنها مجموعة كل الحوادث التي يمكن أن تتأثر بما يحدث في P؛ ولا يمكن للحوادث الخارجية عن مخروط ضوء P أن تصلها أية إشارة من P، إذ لا شيء يسير بأسرع من الضوء، فلا يمكن إذن لهذه الحوادث أن تتأثر بما يحدث في P. أما ما نسميه منطقة «الماضي المطلق» فهي التي تقع داخل مخروط الضوء الماضي، وهي مجموعة كل الحوادث التي يمكن أن تصل منها إلى P إشارات سائرة بسرعة الضوء أو تكاد؛ فهي إذن الحوادث التي يمكن أن تؤثر فيما يحدث في P؛ فلو عرفنا ما يحدث في كل لحظة وفي كل مكان من المنطقة الواقعة داخل مخروط الضوء الماضي لـ P، نستطيع أن نتنبأ بما سيحدث في P. أما المنطقة الثالثة التي نسميها «المستكنَّة»، فهي تلك التي لا تشمل أياً من المخروطين الضوئيين ـــ الماضي والمستقبلي ـــ لـ P: فالحوادث التي في المستكنَّة لا يمكن أن تؤثر فيما يحدث في P ولا أن تتأثر منه. فلو انطفأت الشمس مثلاً في لحظة معينة، فلن يؤثر ذلك في الأشياء على سطح الأرض في هذه اللحظة ذاتها، لأن الأرض تقع في مستكنَّة الحادث الذي هو: شمس منطفئة تواً (شكل ٢، ٦)؛ ونحن لن نعلم بانطفاء الشمس إلا بعد انقضاء ثماني دقائق، هي المدة التي يستغرقها الضوء كي يصل إلينا من الشمس؛ وبعد وصول هذا الخبر فقط تبدأ الحوادث الأرضية بالتوغل في المخروط الضوئي المستقبلي لحادث انطفاء الشمس. ونحن، للسبب ذاته، لا نعلم الآن ما يحدث، في اللحظة التي نحن فيها، في أرجاء العالم النائية: إن الضوء الذي نستقبله اليوم من المجرات النائية كان قد غادرها منذ قرابة ثمانية مليارات سنة. وعلى هذا فإن ما نراه اليوم في تلك المناطق كان قد حدث في ماضينا السحيق.

إذا أهملنا مفعولات التثاقل، كما فعل أينشتاين وبوانكاريه عام ١٩٠٥، نحصل على ما يسمى نظرية النسبية الخاصة (أو المقصورة). ومن أجل كل حادث في الزمكان نستطيع أن نرسم مخروطاً ضوئياً (مجموعة كل الأشعة الضوئية في الزمكان، والتي يمكن أن تصدر في تلك اللحظة): ولما كانت سرعة الضوء واحدة لكل حادث وفي كل الاتجاهات فإن كل مخروطات الضوء تكون متماثلة وذاهبة في اتجاه واحد. ولما كانت النظرية تقول بأن لا شيء يستطيع أن يسير بأسرع من الضوء، فهذا يعني أن مسار الشيء، أيِّ شيء، عبر المكان

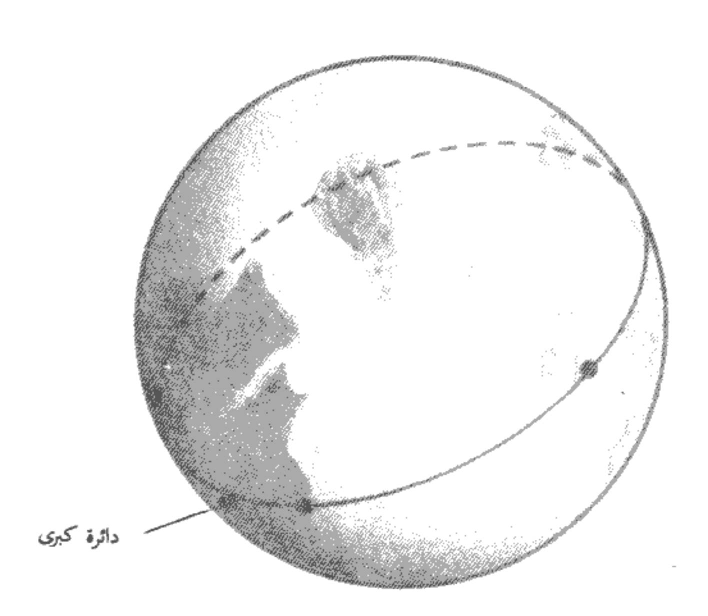
والزمان، يمكن أن يتمثل بمستقيم يقع كله داخل مخروط الضوء المتعلق بكل حادث متمثل بنقطة من هذا المستقيم (شكل ٢، ٧).



لقد كشفت نظرية النسبية الخاصة بما لا يقبل الشك واقع أن سرعة الضوء تظهر واحدة لكل المراقبين (الأمر الذي أكدته تجربة مايكلسون ــ مورلي) وشرحت ما يحدث عندما تتحرك الأشياء بسرعات قريبة من سرعة الضوء. وهي في هذا تتعارض مع نظرية نيوتن في التثاقل، التي تقول بأن الأجسام تتجاذب بقوة تتعلق بالمسافات التي تفصل بينها، أي أنك لو غيرت موضع أحد الأجسام لتغيرت فوراً القوة التي يسلطها على غيره؛ أي ،بتعبير آخر، إن المفعولات الثقالية في نظرية نيوتن تسير بسرعة لا متناهية الكبر، لا بسرعة تساوي سرعة الضوء أو أقل منها كما تقول نظرية النسبية الخاصة. وقد بذل أينشتاين، بدءاً من عام ١٩٠٨، محاولات عديدة لايجاد نظرية في التثاقل تنسجم مع النسبية الخاصة، لكنها لم تثمر

حتى عام ١٩١٤ . إلا أنه استطاع أخيراً أن يقدم، عام ١٩١٥، **نظرية نسميها اليوم نظرية النسبية العامة.**

شكل ٢، ٨

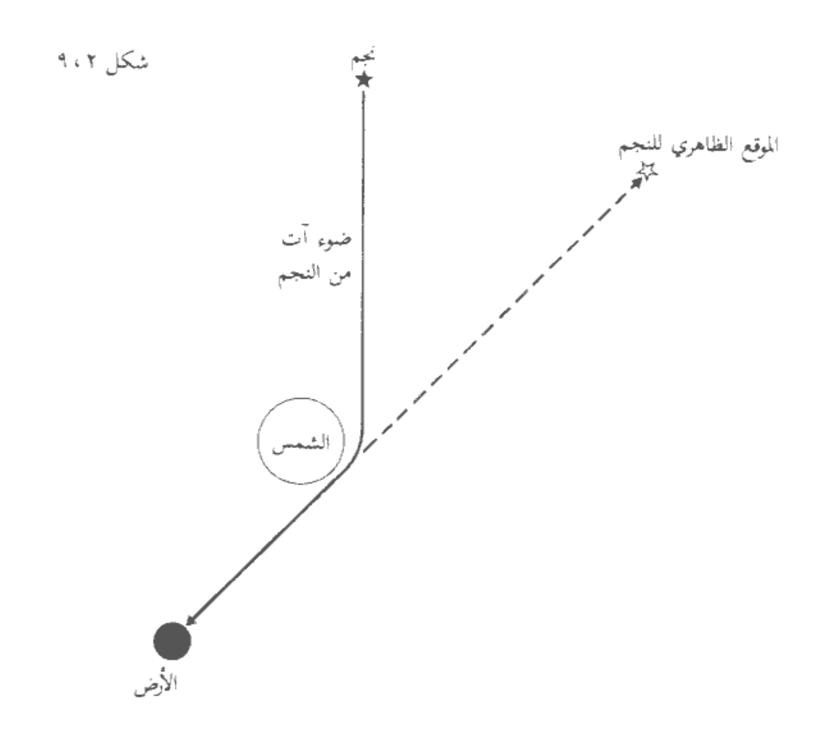


لقد طرح أينشتاين فكرة ثورية تقول بأن الثقالة ليست قوة كالقوى الأخرى، لكنها تنتج من أن الزمكان ليس منبسطاً في الواقع: إنه منحن، أو قل إنه «متعرج» بفعل توزع الكتلة والطاقة فيه. إن اضطرار الأجسام، كالكرة الأرضية مثلاً، إلى التحرك على مدارات منحنية ليس ناجماً عن قوة اسمها التثاقل؛ لكنها في الواقع تسلك مساراً أقرب ما يكون إلى مستقيم في فضاء منحن، أي إلى ما يسميه الرياضيون خطاً جيوديزيا geodesic. والجيوديزي هو أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين متجاورتين. فسطح الأرض، مثلاً، فضاء منحن ذو بعدين؛ والجيوديزي بين نقطتين من سطح الكرة هو قوس بينهما من الدائرة العظمى المارة بهما، وهو وضوحاً أقصر (أو أطول) طريق من إحداهما للأخرى (شكل ٢، ٨). والجيوديزي هو الطريق الذي يسعى ملّاح الطائرة إلى سلوكه بين مطارين لأنه أقصر طريق بينهما. فالأجسام في النسبية العامة تسلك خطوطاً مستقيمة في الزمكان ذي الأبعاد الأربعة،

لكنها تظهر لنا متحركة على مسارات منحنية في زمكاننا ذي الأبعاد الثلاثة (إن هذا يشبه، نوعاً ما، ما نراه عندما نرقب طيارة تطير فوق أرض ذات تضاريس. فرغم أن الطيارة تسلك خطاً مستقيماً في الفضاء ذي الأبعاد الثلاثة، إلا أن ظلها يسلك خطاً منحنياً على الأرض ذات البعدين).

إن كتلة الشمس تحني الزمكان بحيث أن كرة الأرض، وهي تسلك في حقيقة الأمر خطاً مستقيماً في الزمكان ذي الأبعاد الأربعة، تبدو لنا متحركة على مدار منحن في الفضاء ذي الأبعاد الثلاثة. والواقع أن المدارات الكوكبية التي تتنبأ بها النسبية العامة لا تختلف عن تلك التي تتنبأ بها نظرية نيوتن الثقالية؛ إلا أن النسبية العامة تتنبأ في حالة عطارد (وهو الكوكب الصغير الذي يعاني من مفعولات الشمس الثقالية أكثر مما يعاني سواه من الكواكب الأخرى بسبب قربه الكبير منها الذي يعطي لمداره تطاولاً إهليلجياً محسوساً) أن يكون المحور الكبير لإهليلجه دواراً بمعدل دقيقة قوسية واحدة كل عشرة قرون زمنية. وهذا المفعول، على ضآلته، كان قد اكتشف قبل عام ١٩١٥، فكان أحد أوائل الشواهد لصالح نظرية أينشتاين. وفي السنوات الأخيرة تمَّ، بفضل تقدم تقنيات الرادار، قياس مثل هذا الانحراف عن نظرية نيوتن في مدارات لكواكب أخرى، وكانت النتائج على اتفاق مع النسبية العامة.

إن الأشعة الضوئية يجب أن تسلك هي الأخرى جيوديزيات الزمكان؛ ذلك أن انحناء المكان يعني أيضاً أن الضوء لا يمكن بعد الآن أن يعتبر سياراً في الفضاء في خط مستقيم. والنسبية العامة تتنبأ له بأن ينحني في الحقول الثقالية،فهي تتوقع، مثلاً، أن تصبح مخاريط الضوء للنقاط القريبة من الشمس محنية قليلاً بسبب كتلة الشمس. وهذا يعني أن الضوء الآتي إلينا من نجم بعيد يجب أن ينعطف قليلاً باتجاه الشمس إذا كان ماراً بالقرب منها، مما يجعل النجم، الذي يقع قرب الشمس في صفحة السماء، يبدو لنا في موقع غير موقعه الحقيقي (شكل ٢، ٩). لكن من الواضح أنه إذا كان الضوء الآتي من النجم يمر دوماً قرب الشمس فإننا لن نستطيع أن نجزم بأنه منعطف أو بأن النجم موجود في الموضع الذي نراه فيه. لكن بما أن الأرض تدور حول الشمس فإننا سنرى نجوماً عديدة تمر خلف قرصها، وتنعطف المسارات الضوئية الآتية من تلك النجوم. وعندئذ تتغير مواقع هذه النجوم بالنسبة للنجوم الأخرى البعيدة عن قرص الشمس.



إن من الصعب جداً أن نرى هذا المفعول في الظروف العادية لأن شدة ضوء الشمس تمنع رؤية النجوم القريبة منها. لكن من الممكن أن نتحرى الأمر عندما تكون الشمس في حالة كسوف تام، [illegible]ما يحجب القمر نورها عنا. وعلى ذلك لم يمكن التأكد من صحة هذه النبوءة فور صدورها عام ١٩١٥، بسبب الحرب العالمية الأولى؛ لكن ذلك حدث عام ١٩١٩ حين ذهب فريق بريطاني إلى إفريقية الغربية كي يترصد هذه الظاهرة في كسوف شوهد آنئذ تاماً من هناك. وكان هذا الشاهد، الذي وجده علماء انكليز على نظرية ألماني، بادرة عظيمة للتصالح بين البلدين. ومن المثير أن الفحص المتأخر الذي أُجري على الصور المأخوذة آنذاك قد أظهر أخطاء في القياس من رتبة المفعول الذي كان القياس يستهدفه. فقياسات ذلك العصر نجمت عن الحظ البحت، وهذه سمة في الحالات التي

نعرف فيها سلفاً النتيجة التي نريد بلوغها. وليس هذا شيئاً نادراً في تاريخ العلم، لكن هذا الانعطاف في مسار الضوء تمَّ التأكد منه بدقة في أرصاد لاحقة.

وثمة نبوءة أخرى للنسبية العامة: إن انسياب الزمن يجب أن يكون أبطأ بالقرب من جسم كبير الكتلة كالكرة الأرضية، وذلك بسبب وجود علاقة بين طاقة الضوء وتواتر اهتزازه (أي عدد أمواج الضوء في الثانية الزمنية)، فالطاقة التي يحملها الضوء تزداد بازدياد تواتره؛ فعندما يتجه الضوء نحو الأعلى في حقل الثقالة الأرضي، يفقد قسطاً من طاقته فيتناقص تواتره. (هذا يعني أن الفترة الزمنية بين قمة موجة والقمة التي تليها تصبح أطول.) فالشخص الموجود على ارتفاع شاهق يرى أن الحوادث في الأسفل يستغرق حدوثها وقتاً أطول. وقد تمَّ امتحان هذه النبوءة عام ١٩٦٢ من خلال مقارنة ميقاتيتين مضبوطتين وضعت أولاهما في قمة برج والأخرى عند قدمه، فتبين أن الميقاتية السفلية الأقرب إلى الأرض تقصِّر عن العلوية بالمقدار الذي تتنبأ به النسبية العامة بالضبط. وهذا الاختلاف في سرعة حركة عقارب الميقاتيات باختلاف العلو عن سطح الأرض اكتسب اليوم أهمية عملية كبيرة بحلول عصر الأجهزة الدقيقة جداً في الملاحة الفضائية والتي تعمل بالإشارات الآتية إليها من الأقمار الصنعية. وإذا لم تؤخذ في الحسبان مفعولات النسبية العامة فإن المواقع التي تُحسب عندئذ تكون مغلوطة بعدة كيلومترات.

إن قوانين نيوتن الحركية ألغت فكرة الموقع المطلق في المكان. ثم خلَّصت النسبية الخاصة العلمَ من فكرة الزمان المطلق. لنفكر في أمر شخصين توأمين قرر أحدهما أن يعيش على قمة جبل شاهق والآخر عند شاطئ البحر. إن التوأم الجبلي سيشيخ بأسرع من أخيه البحري. وإذا اجتمعا من جديد سيجد أحدهما أن الآخر قد شاخ أكثر منه. إن فرق السن في هذه الحالة سيكون ضئيلاً لا يذكر، لكنه يصبح أكبر لو اختار أحدهما أن ينطلق في رحلة طويلة في مركب فضائي يسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فهو سيجد لدى عودته أنه ما يزال أكثر شباباً بكثير من أخيه الذي بقي على الأرض. إنها الظاهرة التي تسمى «مفارقة التوأمين» لكنها ليست مفارقة إلا لدى من يحتفظ في رأسه بفكرة زمن مطلق. أما في النسبية فلا يوجد زمن مطلق أوحد، بل إن لكل إنسان قياساته الخاصة الشخصية وهي تتعلق بالموضع الذي هو فيه وبأسلوب حركته.

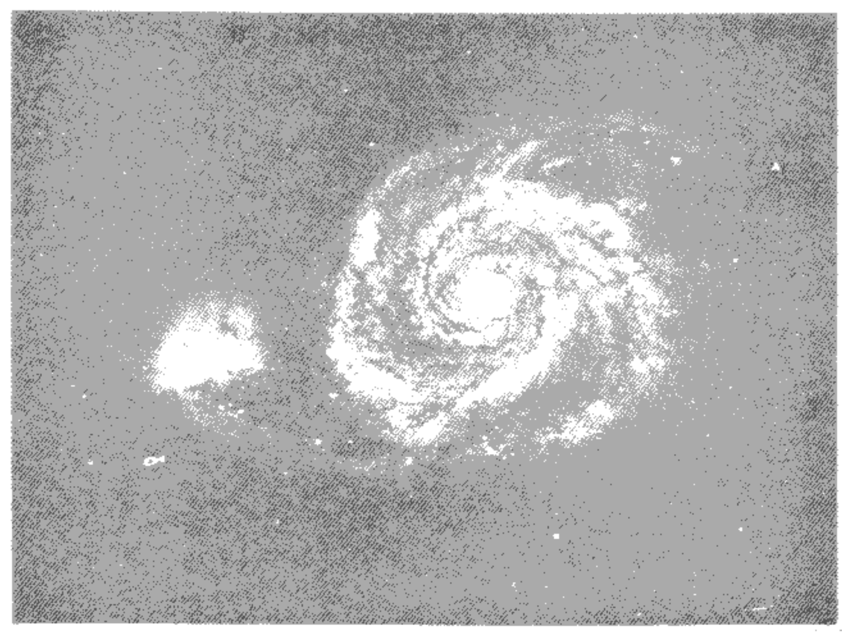
لقد كان يُنظر إلى المكان والزمان، قبل عام ١٩١٥، على أنهما حلبة ساكنة تحدث فيها الحوادث، لكن الحلبة نفسها لا تتأثر البتة بما يحدث فيها. وقد ظلت هذه الفكرة قائمة في النسبية الخاصة. كانت الأجسام تتحرك والقوى تجذب وتدفع، لكن المكان والزمان يظلان قائمين كما هما دون تغيير. فكان من الطبيعي الظن بأن المكان والزمان مستقلان بشؤونهما. لكن الوضع مختلف كلياً في نظرية النسبية العامة. فالمكان والزمان هما الآن مقداران ديناميان (يؤثران ويتأثران): إذا تحرك جسم، أو تسلطت قوة، فإن من شأن ذلك أن يؤثر في انحناء المكان والزمان؛ كما أن بنية الزمكان تؤثر بدورها في أسلوب حركة الأجسام وفي طريقة فعل القوى. إن المكان والزمان لا يؤثران فيما يحدث في العالم فحسب، بل ويتأثران بذلك أيضاً. ولئن كنا من قبل لا نستطيع أن نتكلم عن أحداث العالم دون الاعتماد على مفهومي المكان والزمان، فلا معنى اليوم، في عرف النسبية العامة، لأن نتكلم عن المكان والزمان خارج حدود العالم.

إن هذا الفهم الجديد للمكان والزمان أحدث، في العقود السنوية الأخيرة، ثورة في نظرتنا إلى العالم. فالصورة الذهنية القديمة لعالم مستديم دون تغيير أساسي، كان قد وُجد وسيستمر في الوجود، حل محلها اليوم صورة عالم دينامي، ومتوسع، يبدو أنه بدأ منذ زمن معين ويمكن أن ينتهي في لحظة معينة من المستقبل. وهذه الثورة هي موضوع الفصل القادم. وقد كان ذلك، وبعد سنين عديدة، منطلق عملي في الفيزياء النظرية. وقد برهنت بالتعاون مع صديقي بنروز على أن نظرية أينشتاين في النسبية العامة توحي بأن العالم كان له بداية وربما سيكون له نهاية.



العالم المتوسع

عندما ننظر إلى السماء في ليلة صافية غير مقمرة فإن ألمع الأشياء التي نراها هي بالتأكيد الكواكب التالية : الزهرة والمريخ والمشتري وزحل . ونرى أيضاً عدداً كبيراً من النجوم هي شموس مثل شمسنا لكنها أبعد بكثير . وبعض هذه النجوم الثابتة تبدي تغيراً طفيفاً جداً في مواقعها بعضاً بالنسبة لبعض في أثناء دوران الأرض حول الشمس ؛ فهي إذن ليست ثابتة حقاً ! وذلك ناجم عن أنها قريبة نسبياً منا ؛ ولما كانت الأرض تدور حول الشمس فنحن نرى تلك النجوم من مواقع مختلفة على أرضية نجوم أبعد منها . ونحن بذلك سعداء لأنه يتيح لنا أن نقيس المسافات مباشرة : فكلما كانت قريبة كانت حركتها أوضح . فالنجم ، من كوكبة قنطورس ، الأقرب إلينا يقع على مسافة أربع سنوات ضوئية (أي أن نوره يستغرق أربع سنوات ليصل إلينا) أي حوالي أربعين ألف مليار كيلو متر . ومعظم النجوم الأخرى المرئية بالعين المجردة يقع منا ضمن كرة نصف قطرها بضع مئات من السنين الضوئية . وللمقارنة نذكر أن شمسنا تبعد عنا ثماني دقائق ضوئية فقط ! والنجوم المرئية تبدو مالئة سماء الليل ، لكنها مجمعة خصوصاً في وشاح طويل يسمى درب التبانة ، أو الطريق الحليبية . ومنذ عام ١٧٥٠ قال بعض علماء الفلك بأن هذا الدرب يمكن أن يتفسر إذا قبلنا أن معظم النجوم المرئية مجمعة في حيّز له شكل قرص ، وهو نموذج لما نسميه اليوم مجرة حلزونية (شكل ٣ ، ١) . وبعد عشرات السنين أكد الفلكي هرشل W.Herschel هذه الفرضية



شكل ٣-١٣

وذلك بأن أجرى جرداً دقيقاً لمواقع عدد كبير من النجوم وأبعادها عنا. لكن هذه الفكرة لم تلق قبولاً إجماعياً إلا في أوائل هذا القرن.

إن النموذج الحديث للعالم يعود إلى عام ١٩٢٤ عندما برهن الفلكي الأمريكي هبل E.Huble على أن مجرتنا ليست وحيدة في نوعها بل يوجد في الكون كثير مثلها، وأن بين المجرات أبعاداً شاسعة خالية... ولإثبات ذلك اضطر إلى تعيين أبعاد هذه المجرات النائية جداً عنا والتي، بخلاف النجوم القريبة، تظهر لنا ثابتة حقاً. ولأجل ذلك اضطر هبل إلى اللجوء إلى طرائق قياس غير مباشرة. إن لمعان Brilliance النجوم منوط بعاملين اثنين: كمية الضوء الصادر عنها، ونسميه سطوعها Luminosity، وبعدها عنا. ولما كنا قادرين على قياس اللمعان الظاهر للنجوم القريبة وأبعادها عنا وسطوعها نستطيع، إذا علمنا سطوع النجوم المنتمية إلى مجرة ما، أن نحسب بعدها عنا بعد أن نقيس سطوعها الظاهر. وقد لاحظ هبل أن بعض أنواع النجوم ذات سطوع واحد دوماً شرط أن تكون قريبة بما يكفي لإمكان قياس السطوع. وعلى هذا يقول بأننا إذا عثرنا على نجوم من النوع نفسه في مجرة أخرى نستطيع أن نفترض أن

لها كلها لمعاناً واحداً وأن نحسب بالتالي بعدها عنا . فإذا أمكن ذلك من أجل عدد من النجوم في مجرة واحدة ، وقادتنا حساباتنا إلى قيمة واحدة للبعد عنا من أجلها كلها ، نستطيع أن نطمئن بثقة إلى نجاعة هذه الطريقة في تقدير بعد المجرة عنا .

لقد أجرى هبل الحساب من أجل تسع مجرات . ونحن نعلم اليوم أن مجرتنا ليست سوى واحدة من مئات ملايين المجرات التي تُظهرها لنا المرقابات (التلسكوبات) الحديثة ، وفي أحشاء كل مجرة مئات مليارات النجوم . وفي صورة الشكل ٣ ، ١ مجرة حلزونية تشبه على ما نعتقد منظر مجرتنا كما يراها إنسان موجود في مجرة أخرى . ويبلغ قطر قرص مجرتنا قرابة مئة ألف سنة ضوئية ، وهي تدور على نفسها . وتنجز النجوم الواقعة في أذيال أذرعها دورة واحدة في بضع مئات الملايين من السنين . وليست شمسنا سوى نجم عادي ، أصفر ذي حجم متوسط ، يقع عند الحافة الداخلية لأحد الأذرع المحنية .فما أعظم الطريق الذي سرناه منذ أرسطو وبطليموس حين كنا نظن أن الأرض مركز العالم ! .

إن النجوم بعيدة لدرجة أن تبدو لنا كرؤوس دبابيس منيرة ، فلا نستطيع إدراك حجمها ولا شكلها . فكيف نستطيع إذن أن نميز عن بُعدٍ أنواع النجوم المختلفة؟ إن غالبيتها العظمى لا تشترك إلا بسمة واحدة نستطيع دراستها : لون نورها . لقد اكتشف نيوتن أن الضوء القادم من الشمس إذا اخترق قطعة من الزجاج على شكل قرنة (موشوراً) فإنه يتحلل إلى ألوانه الأصلية (طيفه) كما نرى في قوس قزح . فإذا وجهنا مرقاباً نحو نجم أو نحو مجرة نستطيع ، باستغلال ظاهرة تحلل الضوء هذه ، أن نشاهد طيف الضوء القادم من النجم أو من المجرة . وللنجوم المختلفة أطياف مختلفة ؛ لكن لمعان هذه الألوان ، بعضاً بالنسبة لبعض ، يماثل دوماً ما نتوقع في ضوء صادر عن جسم متوهج بالتسخين.(الواقع أن للضوء الصادر ، عن أي جسم غير شفاف بلغ تسخينه طور الاحمرار ، طيفاً مميزاً لا يتعلق إلا بدرجة حرارة الجسم ، ويسمى الطيف الحراري . وهذا يعني أننا نستطيع أن نتكلم عن درجة الحرارة ، أو السخونة ، النجمية انطلاقاً من طيف نور النجم) وفوق ذلك نجد أحياناً أن بعض الألوان الخاصة جداً غير موجودة ؛ وهذه الألوان الغائبة قد تتغير من نجم لآخر . وبما أننا نعلم اليوم أن كل عنصر كيميائي يمتص مجموعة معينة من الألوان مختصة بالعنصر نفسه ، يكفي أن نقارن هذه الألوان

بالألوان المفقودة في ضوء النجم كي نعرف بالضبط العناصر الموجودة في الجو الغازي للنجم المدروس .

عندما شرع الفلكيون ، في عشرينات هذا القرن ، بدراسة طيف نجوم المجرات الأخرى لاحظوا شيئاً يثير الاستغراب : لقد وجدوا في هذا الطيف حقاً مجموعة الخصائص المميزة لمجرتنا من حيث الألوان المفقودة ، لكن هذه الألوان ظهرت منزاحة كلها ، انزياحاً نسبياً واحداً ، عن مواقعها الطبيعية في الطيف نحو الطرف الأحمر (انزياح الطيف نحو الأحمر) . ولفهم ما ينطوي عليه هذا الانزياح لا بد من أن نعرف بالضبط ما نسميه مفعول دوبلر . لقد رأينا أن الضوء المرئي هو اضطرابات الحقل الكهرطيسي المنتشرة أمواجاً . إن تواتر (تردد ، ذبذبة : أي عدد الموجات في الثانية الزمنية) الضوء عال جداً ، يذهب من أربعمئة إلى سبعمئة ألف مليار موجة في الثانية . وهذه التواترات في الاهتزازات الضوئية هي التي تراها العين البشرية ألواناً مختلفة ؛ وتحتل أخفض التواترات الطرفَ الأحمر للطيف ، في حين تحتل أعلاها الطرفَ الأزرق والبنفسجي . تصوروا الآن منبعاً ضوئياً على بعد ثابت منا ، نجماً مثلاً ، يرسل أمواجاً ضوئية ذات تواتر ثابت . واضح أن تواتر الأمواج التي نستقبلها لا يختلف عن تواتر الأمواج عند صدورها (حقل مجرتنا الثقالي ليس كبيراً بما يكفي للتأثير في هذا التواتر تأثيراً محسوساً) . لنفترض الآن أن هذا المنبع راح يقترب منا . فعندما يرسل قمة الموجة التالية يكون أقرب إلينا ويكون الزمن الذي تستغرقه هذه القمة للوصول إلينا أصغر مما تستغرقه لو كان المنبع ساكناً . هذا يعني أن الفترة المنقضية بين وصول قمتين متواليتين ستكون أصغر وأن عدد الموجات التي نستقبلها أثناء كل ثانية (أي التواتر) يصبح أكبر مما يكون عليه لو كان النجم ساكناً . ولو كان المنبع يتحرك مبتعداً عنا لانخفض تواتر موجاته الواردة إلينا ؛ وهذا يعني ، على صعيد الأمواج الضوئية ، أن النجوم التي تبتعد عنا يكون طيف نورها عندنا منزاحاً نحو الطرف الأحمر للطيف ، أما تلك التي تقترب منا فينزاح طيفها نحو الأزرق . إن هذا الارتباط بين تواتر ضوء المنبع وسرعة حركته هو ما نسميه مفعول دوبلر ، ويمكن أن نجري عليه تجارب كل يوم . أنصت إلى صوت محرك سيارة تسير في الشارع : عندما تقترب السيارة منك تسمع ضجة حادة (تواتراً صوتياً عالياً) وبعد أن تمر بك مبتعدة تسمع صوتاً أجش (تواتراً منخفضاً) . وعلى غرار ذلك تتصرف الأمواج الضوئية والراديوية . حتى أن رجال الشرطة

يستخدمون مفعول دوبلر لضبط سرعة السيارات وذلك بمقارنة تواتر الأمواج الراديوية عند الإرسال بتواترها العائد إليهم بعد الانعكاس عن السيارة!.

قام هبل، في السنوات التي تلت اكتشاف المجرات الأخرى، بجدْولة أبعادها وتسجيل طيوفها. وفي ذلك الوقت كان معظم الناس يظنون أن المجرات تتحرك خبط عشواء؛ فكانوا يتوقعون أن يكون عدد الطيوف المنزاحة نحو الأحمر يساوي عدد تلك المنزاحة نحو الأزرق. لكن دهشتهم كانت كبيرة عندما ثبت أن أكثريتها الساحقة تبدو منزاحة نحو الأحمر: إن كل المجرات تقريباً تهرب منا! والأدهش من ذلك كانت النتائج التي نشرها هبل عام ١٩٢٩: إن مقدار الانزياح نحو الأحمر لا يتفاوت من مجرة لأخرى بشكل فوضوي، لكنه متناسب مع بعد المجرة عنا. كلما ازداد بعد المجرة عنا ازدادت سرعة هروبها منا! إن العالم ليس سكونياً إذن، بخلاف ما كنا نظن؛ إنه يتوسع، إن المسافات بين المجرات تزداد باستمرار.

إن اكتشاف أن العالم يتوسع كان واحداً من أعظم الثورات العلمية في القرن العشرين. ومن السهل أن نتساءل اليوم لماذا لم يفكر أحد بذلك قط. لقد كان حرياً بنيوتن أن يدرك أن العالم السكوني لا بد له، بعد فترة قصيرة، من أن يتقلص بفعل التثاقل. ولكن لنفرض أن العالم في توسع. فإذا كان هذا التوسع بطيئاً نوعاً ما، فإن من شأن التجاذب الثقالي أن يوقفه في نهاية الأمر، ثم أن يحوله إلى تقلص. لكن لو كان التوسع أسرع من ذلك، أي إذا تجاوز معدله قيمة معينة حرجة، فإن الثقالة لن تستطيع، لتضاؤل شدتها، أن توقفه، فيستمر إلى الأبد. وهذا يشبه حالة صاروخ نطلقه من الأرض؛ فإذا كانت سرعة انطلاقه أبطأ من اللازم فإن الثقالة ستستهلكها وينتهي الأمر بالصاروخ إلى السقوط عائداً نحو الأرض. أما إذا كانت السرعة البدئية أكبر من قيمة حرجة معينة (حوالي اثني عشر كيلو متراً في الثانية) فإن الثقالة تعجز عن إعادته إلى الأرض فيبتعد عنها دون رجعة. لقد كان بالإمكان استنباط هذه النتيجة في سلوك العالم، انطلاقاً من نظرية نيوتن في التثاقل، وذلك في أي وقت من القرن التاسع عشر، أو الثامن عشر أو السابع عشر. لكن الاعتقاد بعالم سكوني كان راسخاً لدرجة أن استمر إلى أوائل القرن العشرين. حتى أينشتاين نفسه، حين صاغ نظرية النسبية العامة عام ١٩١٥، كان مقتنعاً بسكونية العالم لدرجة أنه أجرى على نظريته تعديلاً فأضاف، ابتغاء ذلك، إلى معادلاته ثابتته الكونية الشهيرة، أي أنه أدخل قوة «ثقالية مضادة»

لا تصدر ،بخلاف سواها، عن أي منبع محدد، لكنه اخترعها في أعماق بنية العملية الزمكانية مدعياً بأن الزمكان ينزع بالفطرة إلى التوسع وأن هذا التوسع يلجمه التجاذب القائم بين شتى مكنونات العالم، وبمعدل يكفل أن يظل العالم سكونياً. لكن رجلاً واحداً، فقط على ما يبدو، كان على استعداد لأخذ النسبية العامة بحذافيرها؛ وبينما كان أينشتاين وسواه من الفيزيائيين يجهدون في البحث عن وسائل تخلّص النسبية العامة من نبوءة عالم غير سكوني، كان الفيزيائي والرياضي الروسي، ألكسندر فريدمان A.Friedmann، يقوم بعملية تشريح هذه النظرية.

وضع فريدمان فرضيتين بسيطتين بخصوص العالم: أولاهما أن العالم يظهر مماثلاً لنفسه في أي اتجاه نرصده؛ والثانية أن هذا التماثل يظل قائماً ولو رصدنا العالم من أي موضع آخر. ومن هاتين الفكرتين وحدهما استنتج فريدمان أن من غير المتوقع أن يكون العالم سكونياً. وبذلك يكون فريدمان قد تنبأ بتوسع العالم منذ عام ١٩٢٢ وقبل بضع سنوات من اكتشاف هبل لهذا التوسع!

إن فرضية تماثل العالم في كل الاتجاهات ليست في الظاهر صحيحة. فنحن قد رأينا، مثلاً، أن معظم النجوم في مجرتنا تشكل عصابة تعترض سماء الليل كغيمة طويلة نسميها درب التبانة. لكننا لو فحصنا المجرات النائية لوجدنا أنها تتوزع على مناحي السماء بانتظام تقريباً. مما يعطي دليلاً أولياً على تماثل العالم في شتى الاتجاهات، شرط أن ننظر إلى مجمله على مدى المسافات الفاصلة بين المجرات وأن نهمل الفروق في المدى الضيق. لقد ظل هذا الدليل حجة كافية لدعم فرضية فريدمان كصورة تقريبية للعالم الحقيقي. لكن مصادفة سعيدة جاءت عام ١٩٦٥ وكان من نتائجها أن أثبتت أن هذه الفرضية صحيحة في عالمنا هذا بشكل مدهش.

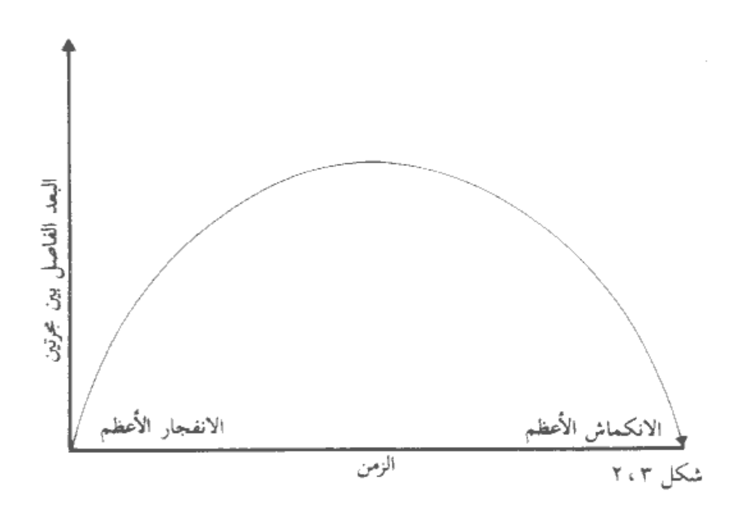
في ذلك العالم كان فيزيائيان أمريكيان من مخابر شركة بِل في نيوجرسي، بنزياس A.Penziaz وويلسون R.Wilson، يختبران جهازاً كاشفاً حساساً جداً للأمواج السنتيمترية (أمواج مكرونية لا تختلف عن أمواج الضوء إلا بتواترها الذي يبلغ حوالي عشرة مليارات في الثانية). كان بنزياس وويلسون يشكوان من أن جهازهما يستقبل إشعاعات مشاغبة أكثر مما كانا يتوقعان. كان بيت القصيد في هذه المصادفة أن هذا الضجيج المشاغب لم يكن يبدو آتياً من جهة معينة. وبعد أن فتشا طويلاً عن أسباب ما اعتقداه خللاً في عمل جهازهما تخليا

عن هذه المحاولة . لكنهما لاحظا أن هذا الشغب يشتد عندما يكون الجهاز موجهاً نحو الأعلى شاقولياً ويضعف في الاتجاه الأفقي ، لأن الأشعة القادمة شاقولياً تجتاز في جو الأرض مسافة أصغر من المسافة التي تجتازها الأشعة القادمة أفقياً . وفوق ذلك كان فرق الشدة بالنسبة للاتجاه الشاقولي واحداً من أجل كل الاتجاهات الأفقية ، مما يعني أن هذا الإشعاع قادم من **خارج** الجو الأرضي ، خصوصاً وأن معالم هذه الظاهرة واحدة في الليل والنهار وفي كل أيام السنة رغم أن الأرض تدور على نفسها وحول الشمس . كل هذا يثبت أن الإشعاع قادم من خارج المنظومة الشمسية ، وحتى من خارج مجرتنا ؛ إذ لو كان الأمر غير ذلك لتغيرت صفاته في أثناء حركة الأرض لأن هذه الحركة تغير اتجاه الجهاز . والواقع أننا نعلم اليوم أن هذا الإشعاع اخترق ، قبل أن يصل إلينا ، معظم العالم المرصود ؛ وبما أنه يبدو مماثلاً لنفسه في كل الاتجاهات فلا بد أن يكون العالم مماثلاً لنفسه ، هو الآخر ، في كل الاتجاهات في المدى الواسع . كما تأكد لنا الآن أن ذلك الشغب لا يتغير ، من جهة رصد لأخرى ، بأكثر من ١ من ١٠٠٠٠ . وهكذا اكتشف بنزياس وويلسون ، عن غير عمد ، شاهداً رصدياً مدهشاً على صحة فرضية فريدمان الأولى .

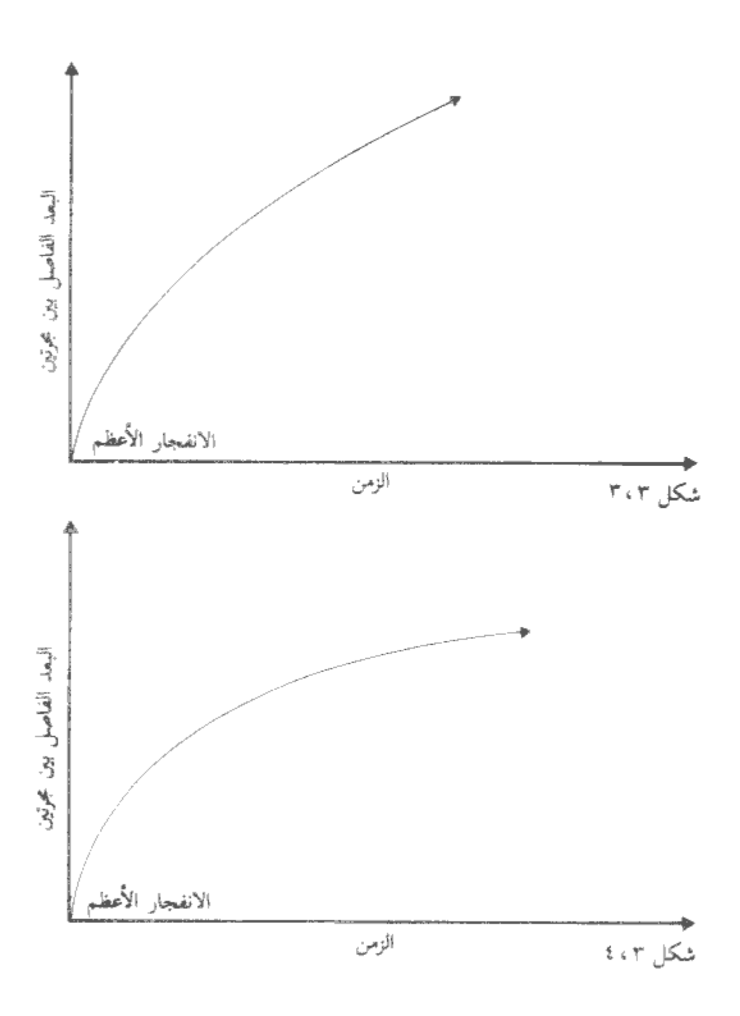
وفي الوقت نفسه تقريباً بدأ فيزيائيان أمريكيان آخران من جامعة برنستون المجاورة ، ديك B.Dicke وبيبلز J.Peebles ، يهتمان بالأمواج السنتيمترية أيضاً : فدرسا اقتراح غاموف G.Gamov ، الذي كان تلميذ فريدمان ، القائل بأن العالم كان في بدئه ساخناً وكثيفاً جداً ومشعاً كأي جسم ساخن آخر . وقد أكد ديك وبيبلز أننا يجب أن نكون قادرين على رؤية بصيص العالم البدئي لأن ضوء أجزائه النائية جداً لا بد أن يكون قد وصلنا الآن فقط . لكن توسع العالم من شأنه أن يجعل طيف هذا الضوء منزاحاً نحو الأحمر بما يكفي ليبدو لنا اليوم على شكل إشعاع سنتيمتري . وفيما كان ديك وبيبلز يستعدان للبحث عنه علم بنزياس وويلسون بما يقومان به وأدركا أن ما اكتشفاه من قبل لم يكن سوى الإشعاع المقصود ؛ وعلى أساس ذلك حازا على جائزة نوبل عام ١٩٧٨ (مما بدا ضربة قاسية نوعاً ما لـ ديك وبيبلز ، ناهيك عن غاموف !) .

إن هذا الشاهد على عالم مماثل لنفسه في كل اتجاهات الرصد يوحي للوهلة الأولى بأن لنا في العالم وضعاً مميزاً . فقد نظن خصوصاً ، بداعي أننا نحن من نرى العالم يتوسع من

حولنا، أننا نحن الذين نحتل مركزه. لكن لهذا الأمر تفسيراً آخر: إن العالم يمكن أن يبدو، من أي موقع رصد آخر، متماثلاً في كل الاتجاهات وهذا، كما نعلم، هو فرضية فريدمان الثانية، ونحن لعدم وجود ما يثبت هذه الفرضية أو ينفيها، نعتقد بالمركز المتميز من منطلق «التواضع!» فقط، لأن غرورنا لا يبيح لنا، والعالم يتوسع من حولنا نحن، أنه يمكن أن يبدو متوسعاً من موقع رصد آخر فيه! لكن المجرات في نموذج فريدمان تتباعد كلها بعضاً عن بعض، وهي حال تشبه حال نفاخة مطاطية رُسم عليها هنا وهناك عدد من البقع، فراحت هذه البقع تتباعد فيما بينها أثناء تزايد الانتفاخ؛ فتزايد حجم النفاخة يزيد في قيمة المسافة بين أي بقعتين، دون أن يكون لهذا التوسع أي مركز على النفاخة، حتى أن البقع تتباعد فيما بينها بسرعة تتزايد بتزايد المسافات. وهكذا الحال في نموذج فريدمان: إن سرعة هروب المجرات بعضاً من بعض متناسبة مع المسافات الفاصلة بينها. فهذا النموذج يتنبأ إذن بأن يكون انزياح طيف المجرة نحو الأحمر متناسباً مع المسافة التي تفصلها عنا؛ وهذا بالضبط ما وجده هبل. لكن أعمال فريدمان، رغم نجاح نموذجه في التنبؤ بما اكتشفه هبل بالرصد، ظلت مجهولة في الغرب على نطاق واسع إلى أن ظهرت نماذج مشابهة، عام ١٩٣٥، صنعها الأمريكي روبرتسون H.Robertson والرياضي البريطاني ووكر A.Walker جواباً على اكتشاف هبل أن العالم يتوسع بانتظام.



شكل ٣، ٢



شكل ٣ ، ٣

شكل ٣ ، ٤

ورغم أن فريدمان لم يجد سوى نموذج واحد ، إلا إن هناك في الواقع ثلاثة أنواع من النماذج منطلقة من فرضيتيه الأساسيتين . ينبئ أول النماذج (التي كان فريدمان قد وجدها) عن عالم بطيء التوسع بما يكفي للتجاذب الثقالي بين المجرات أن يلجمه وأن يوقفه ، وعندئذ تبدأ المجرات بالتقارب والعالمُ بالانكماش . ويبين الشكل ٣ ، ٢ كيف تتغير المسافة بين مجرتين

متجاورتين بمرور الزمن . إنها تبدأ من الصفر فتتزايد حتى تبلغ قيمة عظمى ، ثم تتناقص حتى تعود إلى الصفر . وينبىء النموذج الثاني عن عالم يتوسع بسرعة كبيرة لدرجة يعجز معها التجاذب الثقالي عن إيقافه رغم أنه يلجمه بعض الشيء ؛ ويظهر الشكل ٣ ، ٣ كيف تتغير المسافة بين مجرتين متجاورتين ، فتنطلق من الصفر ثم تتباعد المجرات بعضاً عن بعض إلى الأبد . أما النموذج الثالث أخيراً فينبىء عن عالم له من سرعة التوسع ما يكفيه ليتحاشى الانكماش اللاحق لا أكثر ولا أقل ، وفيه تنطلق المسافة من الصفر وتتزايد باستمرار (الشكل ٣ ، ٤) لكن سرعة تباعد المجرات تتضاءل دون أن تنعدم أبداً .

ربما كانت أهم ميزة لنموذج فريدمان الأول هو أنه ينبىء عن عالم محدود في الفضاء ، لكن الفضاء غير ذي حدود . والثقالة قوية لدرجة أن الفضاء مغلق على نفسه ؛ فهو يشبه بالأحرى سطح كرة الأرض ، الذي إذا سار إنسان عليه باتجاه واحد ، أياً كان ، فلن يصادف أبداً حاجزاً لا يستطيع تخطيه ، وسينتهي به السير إلى نقطة انطلاقه . فالفضاء في نموذج فريدمان الأول هو على هذه الشاكلة ، لكنه ذو ثلاثة أبعاد لا بعدين . والبعد الرابع أيضاً ، أي الزمن ، منتهي الاتساع لكنه يشبه خطاً ذا طرفين أو حدين ، هما بدؤه ونهايته . وسنرى فيما بعد أن الجمع بين النسبية العامة ومبدأ الارتياب في ميكانيك الكم يتيح للفضاء وللزمن أن يكونا محدودين دون حافات ولا حدود .

إن فكرة إمكانية القيام بجولة كونية مغلقة ، نعود في نهايتها إلى نقطة الانطلاق ، تستثير لدى كتّاب الخيال العلمي حكايا مشوقة ، لكنها غير ذات مضمون عملي ؛ إذ يمكن البرهان على أن العالم يكون قد أنهى انكماشه تماماً قبل انجاز الدورة ، لأن انجازها يستدعي السير بأسرع من الضوء لبلوغ الغاية ، وهذا غير ممكن ! .

وفي نموذج فريدمان الأول أيضاً ، ذي التوسع المتبوع بالارتصاص ، يكون الفضاء منحنياً بحد ذاته ، على غرار سطح كرة الأرض ؛ فهو إذن منتهي المدى . أما في النموذج الثاني ، ذي التوسع الأبدي ، فالفضاء محنيّ بشكل آخر ، على شاكلة سرج الحصان ؛ فالفضاء فيه إذن غير منته . وفي النموذج الثالث أخيراً ، بمعدل توسعه الحرج ، فضاء سوي (وبالتالي غير منته أيضاً) .

ولكن أي واحد، من بين هذه النماذج الفريدمانية، يصف عالمنا هذا؟ هل سيتوقف عالمنا ذات يوم عن التوسع ويبدأ مرحلة الارتصاص، أم سيثابر على توسعه إلى الأبد؟ للجواب عن هذا السؤال نحتاج إلى معرفة معدل توسعه الحالي وكثافته الوسطية. فإذا كانت هذه الكثافة أقل من حد حرج، يحدده معدل التوسع، فإن التجاذب الثقالي يكون أضعف من أن يستطيع إيقاف التوسع، أما إذا كانت الكثافة الوسطية أكبر من القمية الحرجة فإن الثقالة ستوقف التوسع في لحظة آتية معينة وتعود بالعالم إلى الارتصاص.

إننا نستطيع، بعد قياس سرعة هروب المجرات منا وباستخدام مفعول دوبلر، أن نعيّن معدل التوسع الحالي، وذلك بدقة كبيرة. لكن المسافات التي تفصل المجرات غير معروفة بدقة كافية لأننا لا نستطيع قياسها إلا بطريقة غير مباشرة. وعلى هذا لا نعلم سوى أن العالم يتوسع بمعدل ٥٪ إلى ١٠٪ كل مليار سنة. لكن الارتياب بقيمة الكثافة الوسطية الحالية أكبر من هذا بكثير. ولو أجرينا عملية جمع على كتل كل النجوم التي نستطيع رؤيتها (بكل الوسائل المتاحة اليوم) في مجرتنا والمجرات الأخرى لحصلنا على مجموع أقل من عُشر اللازم لإيقاف التوسع، حتى ولو اعتمدنا القيمة الدنيا المقدرة لمعدل التوسع. لكن مجرتنا وسواها تحوي دون شك «كتلة خفية» بكمية كبيرة، كتلة لا نستطيع رؤيتها بحد ذاتها لكننا نستدل على وجودها من تأثير جاذبيتها الثقالية على مدارات النجوم في المجرات. ولما كانت معظم المجرات تشكل بدورها تجمعات كثيرة نستطيع، بالأسلوب نفسه، أن نستنتج وجود أجرام خفية فيما بينها أعظمَ كتلةً مما بين النجوم وتتجلى من خلال تأثيرها على حركات المجرات. ومع ذلك لا نصل، ولو جمعنا كل هذه الكتل الخفية، إلا إلى قرابة عُشر ما يلزم لإيقاف التوسع. بيد أننا لا يحق لنا أن نستبعد إمكانية وجود شكل آخر من مادة موزعة بالتساوي في أرجاء العالم كله ولم نكتشفها بعد، وقد تكون كميتها الكلية كافية لبلوغ كثافة وسطية تساوي أو تفوق القيمة الحرجة اللازمة لتوقف التوسع. فما نعلمه اليوم إذن يوحي باحتمال أن يستمر العالم في التوسع إلى الأبد. لكن الذي يمكن أن نؤكده بكل اطمئنان هو أن تقلص العالم، لو حدث، لن يحدث قبل عشرة مليارات عام، لأنه ما انفك يتوسع منذ مثل هذه المدة على الأقل. فلا مجال إذن للقلق الزائد: إن الجنس البشري يكون عندئذ قد انقضى على

انقراضه، مع موت الشمس، دهر طويل؛ اللهمَّ إلا إذا كان قد هاجر قبل ذلك وتكاثر خارج المنظومة الشمسية!.

إن كل نماذج فريدمان لها الخاصية التالية: في لحظة من الماضي (منذ عشرة مليارات عام أو عشرين) كانت المسافات بين المجرات معدومة. وفي تلك اللحظة، التي نسميها الانفجار الأعظم، كانت كثافة العالم لا نهائية الكبر وكذلك شدة انحناء الزمكان؛ ولما كانت الرياضيات عاجزة عن التعامل حقاً مع أعداد لا نهائية الكبر، فإن هذا يعني أن نظرية النسبية العامة (التي تعتمد عليها نماذج فريدمان) تتنبأ بنقطة في العالم تنهار فيها النظرية نفسها. إن مثل هذه النقطة نموذج لما يسميه الرياضيون «متفرداً Singularity». والواقع أن كل نظرياتنا العلمية تعتمد على فرضية أن الزمكان أملس وشبه منبسط، فهي إذن تنهار أيضاً في متفرد الانفجار الأعظم حيث انحناء الزمكان لا نهائي الكبر. ومغزى ذلك أن ما حدث قبل الانفجار الأعظم، إن كان قد حدث شيء قبله، لا يمكن استخدامه لمعرفة ما قد يحدث بعده، لأن قدرتنا على التنبؤ تنعدم في الانفجار الأعظم. فإذا علمنا فقط ما حدث بعد الانفجار الأعظم، كما هي حالنا اليوم، فلن نستطيع إذن تعيين ما حدث قبله. ولا يمكن أن يكون لهذه الحوادث، فيما يخصنا على الأقل، أية عواقب؛ وبذلك لا مجال لاعتبارها جزءاً من نموذج علمي للعالم. علينا إذن أن نسقطها من النموذج وأن نقول إن الزمان بدأ بالانفجار الأعظم.

إن كثيراً من الناس لا يحبون فكرة زمن ذي بدء، على الأرجح لأنها تفوح برائحة مداخلة ربانية (لقد انتهزت الكنيسة الكاثوليكية، من جهتها، هذه الفرصة لتعلن رسمياً أن الانفجار الأعظم يتفق مع الإنجيل). وكان أن جرت محاولات لاجتناب الوصول إلى هذه النتيجة. وقد دعي الاقتراح الذي حاز على أكبر عدد من الأصوات باسم «نظرية الخلق المستمر»، وقد أتت عام ١٩٤٨ من لاجئَين من النمسا المحتلة، بندي H.Bondi وغولد T.Gold، ومن بريطاني اسمه هويل F.Hoyle اشتغل معهما في تطوير الرادار أثناء الحرب. كان اقتراحهم يعتمد على ما يلي: لما كانت المجرات تتباعد بعضاً عن بعض، فإن مجرات أخرى تنشأ باستمرار في الخلاء بين المجرات مشكلةً من مادة جديدة تُخلق باستمرار، مما يمنح العالم إذن مظهراً إجمالياً لا يحول في كل مكان وزمان. إن نظرية الخلق المستمر تستدعي تعديلاً

على النسبية العامة يأخذ في الحسبان خلق المادة المستمر لكن معدل هذا الخلق تبين بالحساب صغيراً (حوالي جسيم واحد في الكيلو متر المكعب في السنة) لدرجة أنه لا يتعارض مع التجربة. لقد كانت هذه النظرية علمية جيدة بموجب المعايير المذكورة في الفصل الأول. كانت بسيطة وذات نبوءات دقيقة يمكن وضعها على محك الرصد. كانت إحدى نبوءاتها تقول بأن عدد المجرات أو ما شابهها، في حجم معين من الفضاء، يجب أن يظل على حاله في كل آن وكل مكان ننظر منه إلى العالم. وفي أواخر الخمسينات وأوائل الستينات تمَّ تنظيم كشف لكل منابع الأمواج الراديوية الآتية من الفضاء بين النجوم، قام به في كمبردج فريق من الفلكيين يقوده رايل M.Ryle (الذي كان قد عمل مع بندي وغولد وهويل على الرادار أيام الحرب) فتبين أن معظم هذه المنابع يقع خارج مجرتنا (وأن الكثير منها ينطبق على مجرات أخرى)، وأيضاً أن عدد المنابع الضعيفة يفوق بكثير عدد المنابع القوية. وقد فُسرت المنابع الضعيفة على أنها الأبعد، والقوية هي الأقرب. وعندئذ اتضح أن الكثافة العددية (عدد المنابع في حجم معين) للمنابع القريبة أصغر من الكثافة العددية للمنابع البعيدة؛ فكان علينا أن نفهم من ذلك أحد أمرين: إما أننا موجودون في مركز منطقة واسعة من العالم عدد هذه المنابع فيها أقل مما يوجد في سواها، وإما أن هذه المنابع كانت أكثر عدداً في الماضي، عندما بدأت أمواجها الراديوية رحلتها إلينا. وسواء صح هذا أو ذاك فإن كلاً منهما يتعارض مع نظرية الخلق المستمر. وإذا أضفنا إلى هذا ما اكتشفه بنزياس وويلسون عام ١٩٦٥، من أن الإشعاع السنتيمتري يدل أيضاً على أن العالم كله كان في الماضي أكثف منه اليوم، نفهم أسباب إهمال هذه النظرية.

وفي عام ١٩٦٣ قام الروسيان لفشتز E.Lifshitz وخالاتنيكوف I.Khalatnikof بمحاولة أخرى لاجتناب نظرية الانفجار الأعظم مع ما تستتبعه من بدء للزمن. فقالا بأن الانفجار الأعظم ليس إلا من غرائب نماذج فريدمان التي هي في نهاية الأمر صور تقريبية للعالم الحقيقي، وأن من بين كل النماذج التي ترسم للعالم الحقيقي صوراً تقريبية، لا يوجد ما يحوي متفرداً من نوع من الانفجار الأعظم سوى نماذج فريدمان. وهذه النماذج تفترض أن كل المجرات تتباعد بعضاً عن بعض بشكل مباشر، ولا غرابة عندئذ في فكرة أنها كانت في الماضي مجمعة في مكان واحد. لكن المجرات في العالم الحقيقي لا تتباعد فيما بينها بهذا

الأسلوب المباشر بالضبط، بل إن لها أيضاً سرعات مائلة ضعيفة. وعلى هذا تنتفي حاجتها إلى أن تكون في آن من الماضي موجودة في مكان واحد، بل أن تكون فقط متجاورة جداً آنئذ. فقد لا يكون إذن عالمنا المتوسع ناجماً عن متفرد من نوع الانفجار الأعظم، بل من طور انكماشي أولي فحسب؛ أي أن الجسيمات، في حال تهافت العالم على نفسه، قد لا تتصادم بل تمر بعضاً ببعض مرور الكرام ثم تتباعد معطية الانطباع الحالي بتوسع العالم. فكيف إذن نستطيع أن نؤكد أن العالم الحقيقي بدأ بانفجار أعظم؟ الواقع أن لفشتز وخالاتنيكوف درسا نماذج تمت بصلة إلى نماذج فريدمان لكنها تأخذ في الحسبان شذوذات وسرعاً انتُخبت على عشوائية المجرات في العالم الواقعي: فأثبتا أن مثل هذه النماذج يمكن أن تبدأ بانفجار أعظم، حتى ولو كانت لا تتباعد مباشرة فيما بينها، لكنهما أدعيا أن ذلك ممكن أيضاً في بعض نماذج استثنائية تتحرك فيها المجرات على خط مستقيم. ولما كان عدد النماذج الفريدمانية الخالية من متفرد على شاكلة الانفجار الأعظم يفوق، بما لا يقاس، عدد تلك التي تنطوي عليه يستنتج لفشتز وخالاتنيكوف يقيناً أن العالم لم ينطلق من انفجار أعظم. لكنهما تبينا بعد ذلك أنه يوجد من النماذج صنف أشمل بكثير وينطوي على متفردات، وليس على المجرات فيه أن تتحرك بأسلوب مميّز. وعلى هذا رجعا، عام ١٩٧٠، عن ادعائهما الأولي.

لكن عملهما كان مع ذلك ذافائدة كبيرة، لأنه أثبت أن العالم كان يستطيع أن يوجد في متفرد من نوع الانفجار الأعظم إذا كانت النسبية العامة صحيحة. بيد أن ذلك لم يكن ليجيب عن السؤال الحاسم التالي: هل تتنبأ النسبية العامة بأن عالمنا كان لا بد له من انفجار أعظم، أي من بدء للزمن؟ لقد جاء الجواب من تناول جديد قام به الرياضي والفيزيائي البريطاني بنروز R.Penrose عام ١٩٦٥. فبالاستناد على أسلوب سلوك المخروطات الضوئية في النسبية العامة، وفي الوقت نفسه على واقع أن الثقالة تجاذبية دوماً، برهن بنروز على أن النجم المتهافت على نفسه بفعل ثقالته الذاتية ينتهي إلى الانكماش ضمن منطقة يتقلص سطحها إلى أن يبلغ قيمة الصفر. وبتناقص مساحة هذا السطح يتناقص حجمه أيضاً. وعلى هذا ترتص مادة النجم في حجم معدوم وتصبح كثافتها وانحناء الزمكان لا نهائيي العظم. أي بتعبير آخر، بشكل متفرد ضمن منطقة زمكانية معروفة باسم «ثقب أسود».

يبدو للوهلة الأولى أن النتيجة التي حصل عليها بنروز لا تنطبق إلا على النجوم، ولا صلة لها بمسألة ما إذا كان العالم كله قد انطوى حقاً ذات يوم في متفرد من نوع الانفجار الأعظم. لقد كنتُ، حين نشر بنروز نظريته، باحثاً شاباً يفتش يائساً عن مسألة تصبح موضوع أُطروحة للحصول على الدكتوراه. وكان الأطباء، قبل سنتين، قد شخَّصوا أني مصاب بمرض في الأعصاب المحركة، وأنني لن أعيش أكثر من سنة أو سنتين؛ وفي هذه الظروف بدا لي أن لا جدوى من العمل في أُطروحتي. لكن السنتين مرتا دون أن أشعر بتفاقم في سوء حالي. بل إنني شعرت في الواقع بأن حالي أقرب إلى التحسن، وخطبت فتاة جميلة جداً، جين وايلد. لكنني أحتاج إلى عمل كي أستطيع الزواج، وللحصول على عمل أحتاج إلى أُطروحة.

وفي عام ١٩٦٥ قرأتُ بمناسبة نظرية بنروز أن الجرم الذي يعاني انهياراً تهافتياً على نفسه لا بد أن يشكل في النهاية متفرداً. وما لبثت أن فهمتُ أنه لو انعكس اتجاه الزمن في هذه النظرية لأصبح التهافت توسعاً وبقيت شروط النظرية قائمة، شرط أن يكون العالم اليوم شبه مطابق لأحد نماذج فريدمان في المدى الواسع. وقد ثبت من نظرية بنروز أن النجم المتهاوي على نفسه لا بد أن ينتهي في متفرد، أي أن فكرة الزمن المعكوس تنبىء أن كل عالم من نوع فريدمان المتوسع لا بد أن يكون قد بدأ بمتفرد. ولأسباب فنية كانت نظرية بنروز تستدعي أن يكون العالم غير محدود الاتساع في المكان. فاستطعت استخدامها أيضاً للبرهان على أن المتفرد لا يمكن أن يكون قد حصل إلا إذا كان العالم يتمدد بسرعة تكفي لتجنب عودة التهافت (لأن نماذج فريدمان وحدها كانت غير محدودة الاتساع في المكان).

وفي هذه السنوات الأخيرة طورتُ تقنيات رياضية جديدة لإصلاح ذلك، وكذلك شروطاً تقنية أخرى ناجمة عن نظريات تُثبت إمكانية حصول متفردات. وكانت النتيجة النهائية نشرة ظهرت عام ١٩٧٠ تحمل توقيع بنروز وتوقيعي وتُثبت أخيراً أن متفرداً من نوع الانفجار الأعظم يجب أن يكون قد حصل، بشرطين فقط: أن تكون النسبية العامة صحيحة وأن يحوي العالم من المادة المقدار الذي نرصده. لكن كثيراً من رجال العلم رفضوا ذلك، الروس من جهة بسبب إيمانهم الماركسي بالحتمية determinism العلمية، وأولئك الذين يرون فكرة المتفرد برمتها مزعجة وملطخة لجمال نظرية أينشتاين، من جهة أخرى. لكن من غير

الممكن المجادلة في نظرية رياضية. فكان أن حظي عملنا بالقبول تدريجياً. وفي هذه الأيام يقبل الجميع تقريباً بأن العالم بدأ من متفرد من نوع الانفجار الأعظم.

لقد رأينا في هذا الفصل كيف تمكن الإنسان، في خلال أقل من نصف قرن، من تغيير الصورة القديمة للعالم، تلك الصورة التي استغرق صنعها آلاف السنين. لم يكن اكتشاف هبل لتوسع العالم ولا الأخذ في الحسبان صغر شأن كوكبنا الخاص في الكون الواسع نقطتي انطلاق. وكما تبيَّن شيئاً فشيئاً، من الشواهد التجريبية والبراهين، اتضح لنا أكثر فأكثر أن العالم كان له بدء في الزمن، وقد قدمنا، بنروز وأنا، البرهان النهائي معتمدين على نظرية اينشتاين في النسبية العامة. وهذا البرهان يُظهر أن النسبية العامة ليست سوى نظرية غير كاملة: إنها عاجزة عن أن تقول لنا كيف بدأ العالم، لأنها كانت تتنبأ بأن كل النظريات الفيزيائية، بما فيها هي نفسها، كانت باطلة عندما انبثق العالم. وهي أيضاً نظرية جزئية؛ ذلك أن ما تقدمه نظريات المتفرد حقاً هو أن العالم قد تعرض في بدء بدئه إلى لحظة كان فيها صغيراً لدرجة بالغة لا تبيح لنا أن نستمر في إهمال آثار النظرية الكبرى الجزئية الثانية التي ظهرت أيضاً في القرن العشرين لتهتم بما يحدث في دنيا الصغائر، ونقصد بها ميكانيك الكم. وقد اضطررنا، منذ أوائل السبعينات، إلى تحويل اتجاه أبحاثنا، في سبيل فهم العالم، من مجال اللانهائي الكبر إلى مجال اللانهائي الصغر. وسنعمد إلى شرح هذه النظرية، ميكانيك الكم، في الفصل التالي قبل أن نوجه جهودنا نحو ضم النظريتين الجزئيتين في نظرية واحدة تسمى اليوم النظرية الكمومية في التثاقل.

٤ مبـــدأ الارتيـــاب

إن النجاح الذي أصابته النظريات العلمية ، وخصوصاً نظرية نيوتن في التثاقل ، جعل العالم الفرنسي المركيز لابلاس يؤكد ، في مطلع القرن التاسع عشر ، أن العالم معين بتمامه . وكان يقصد بذلك أن فيه حتماً مجموعة من القوانين العلمية تتيح التنبؤ بكل ما سيحدث في العالم، شرط أن نعلم كل شيء عن حالته الراهنة . فبمعرفة ظروف الشمس والكواكب وسرعاتها في آن ما ، مثلاً ، نستطيع استخدام قوانين نيوتن لحساب حالة المنظومة الشمسية في أي آن نريد . كانت الحتمية تبدو في هذه الحالة بدهية تماماً ؛ لكن لابلاس ذهب إلى أبعد من ذلك مؤكداً وجود قوانين تقوم بوظيفة مماثلة في حكم الباقي ، بما في ذلك سلوك البشر .

كان مذهب الحتمية العلمية يلقى معارضة شديدة من طرف أولئك الذين يرون فيه خرقاً لحرية الله في التدخل في شؤون ما خلق ، وكانوا كثراً . لكنه ظل المعتمد الأساسي في العلم حتى السنوات الأولى من القرن العشرين ، حين ظهرت أولى دواعي التخلي عنه أيام أوحت الحسابات التي أجراها الانكليزيان ، لورد رايلي وجنيز ، بأن الجسم الحار ، أو أي جسم آخر كالنجم ، يصدر طاقة باستمرار . وبموجب قوانين تلك الحقبة كان المفروض بالجسم أن يصدر أمواجاً كهرطيسية (كأمواج الراديو والضوء المرئي والأشعة السينية) بكمية موزعة بالتساوي على كل التواترات . كان مثلاً على الجسم الحار أن يُصدر ، من الطاقة المحمولة على تواترات موجية محصورةٍ بين موجة واحدة وألفي مليار موجة في الثانية ، مقداراً

يساوي ما يُصدر محمولاً على تواترات محصورة بين ألفي مليار وثلاثة آلاف مليار موجة في الثانية. ولما كان عدد الأمواج في الثانية غير محدود، فإن هذا يعني أن الطاقة الكلية الصادرة من هذا الجسم الحار يجب أن تكون بمعدل لا نهائي الكبر.

وللتخلص من هذه النتيجة المهزلة اقترح العالم الألماني ماكس بلانك M.Planck، عام ١٩٠٠، فكرة أن الضوء والأشعة السينية وكل الأمواج لا يمكن أن تصدر بمعدل اعتباطي، بل على شكل حبات أسماها كموماً quanta؛ وكل كمٍّ من هذه الكموم يتمتع بمقدار معين من الطاقة متناسب مع تواتر الموجة. وعلى هذا فإن صدور كمٍّ واحد منوطٍ بتواتر عال قد يستلزم طاقة أكبر مما هو جاهز؛ وبذلك تكون غزارة الإشعاع ذي التواتر العالي قليلة، مما يجعل معدَّل خروج الطاقة من الجسم محدوداً.

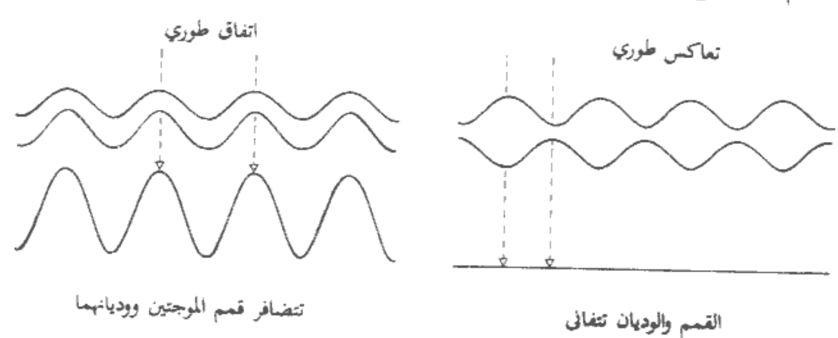
إن هذه الفرضية الكمومية تفسر تماماً المعدل المرصود في إشعاع الأجسام الحارة، لكن مضامينها على صعيد الحتمية لم يُحسب لها حساب قبل عام ١٩٢٦ حينما صاغ الألماني الآخر، فيرنر هايزنبرغ، فكرته المشهورة باسم «مبدأ الارتياب»: إن التنبؤ بموقع الجسيم وسرعته في آن مستقبلي يستدعي إمكانية قياسهما في الآن الحاضر بكل دقة. ولإجراء هذين القياسين لا بد من إنارة الجسيم كي يتاح لنا، بواسطة النور المتناثر عنه، تعيين موقعه. لكننا لا نستطيع تعيين هذا الموقع بأدق من المسافة الفاصلة بين قمتي موجتين ضوئيتين. وعلى هذا، وتوخياً للدقة، نحتاج إلى ضوء ذي طول موجة قصير. لكننا لا نستطيع، بموجب فرضية بلانك الكمومية، أن نحصل على كمية من الضوء صغيرة بمقدار ما نريد، والعملية تقتضي استخدام كمٍّ واحدٍ على الأقل. لكن هذا الكم لا بد أن يزحزح الجسيم وأن يعدِّل سرعته بشكل لا نعلم عنه شيئاً. والأدهى من ذلك أننا عندما نتوخى مزيداً من الدقة في تعيين موقع الجسيم، نضطر إلى استعمال أمواج أقصر، أي تواترات أكبر، وبالتالي كموم ذات طاقة أعظم، ومن شأن ذلك أن يزيد في رداءة الدقة في قياس سرعة الجسيم. فأنتم، بمختصر العبارة، كلما حاولتم الحصول على دقة أحسن في تعيين موقع الجسيم ازدادت رداءة الدقة في قياس سرعته، والعكس بالعكس. وقد برهن هايزنبرغ على أن جداء (حاصل ضرب) الارتياب في موقع الجسيم بالارتياب في جداء سرعته بكتلته (يسمى جداء السرعة بالكتلة اندفاعاً) لا يمكن أن يقل أبداً عن كمية معينة تسمى «ثابتة بلانك»، وهذا

الحد الأدنى مستقل عن الطريقة التي نتبعها، مهما كانت، لقياس موقع الجسيم أو سرعته: إن مبدأ الارتياب لهايزنبرغ خاصية أساسية لا محيد عنها من خصائص الطبيعة.

لقد كان لمبدأ الارتياب وقع عميق على صورة العالم التي نحاول رسمها، حتى أن مضامينه لم تزل، وقد مضى عليه الآن أكثر من خمسين عاماً، غير مقبولة بتمامها لدى عدد من الفلاسفة وموضع مجادلات حامية. فمبدأ الارتياب يحكم بالموت على حلم لابلاس في بناء نظرية في العلم ونموذج للعالم يكونان معينين تماماً: إذ كيف نستطيع أن نتنبأ بالحوادث المستقبلية بدقة إذا كنا عاجزين حتى عن تعيين الحالة الراهنة للعالم بدقة؟ ولئن كنا ما نزال قادرين على تخيل وجود مجموعة قوانين تتحكم في الحوادث عن طريق كائن فوق الطبيعة قادر على رصد حالة العالم الراهنة دون أن يشوشه، إلا أن أمثال هذا النموذج لن تفيدنا كثيراً، نحن المساكين الفانين! ومع ذلك يبدو من الأجدى استخدام المبدأ الاقتصادي المعروف باسم مجحاف أوكهام Ockham نجحف به من النظرية كل الخصائص التي لا يمكن رصدها. وقد قاد هذا التناول هايزنبرغ وشرودنغر وديراك، في أعوام العشرينات، إلى صياغة الميكانيك في نظرية جديدة تعتمد على مبدأ الارتياب، اسمها ميكانيك الكم. لن يكون للجسيمات في هذه النظرية بعد الآن مواقع بيِّنة، معينة تماماً، ولا سرعات يمكن رصدها، لكن لها بدلاً من ذلك، حالة كمومية هي حصيلةٌ مركَّبة من موقعها وسرعتها.

وعموماً لا يتنبأ ميكانيك الكم بحالة وحيدة تماماً في رصد معين، لكنه يطرح، كبديل عن ذلك، عدداً من النتائج الممكنة والمتخالفة، ويعطينا لكل منها احتمال وجود. وهذا معناه أننا إذا أجرينا القياس نفسه على عدد كبير من الجمل المتماثلة تماماً، العاملة بأسلوب واحد، فسنجد نتيجة قياس، A، في بعض الجمل و B في بعض آخر، وهكذا؛ ومن غير الممكن التنبؤ بنتيجة عملية قياس مفردة. فميكانيك الكم يُدخل إذن، في صلب العلم، عنصر غموض ومصادفة. لقد اعترض أينشتاين على هذا بشدة رغم أنه لعب دوراً مهماً في تطوير هذه الأفكار. لكنه، وهو الذي استحق جائزة نوبل لإسهامه في ميكانيك الكم، لم يقبل قط بأن العالم تحكمه الصدف، وقد عبر عن شعوره بقوله المشهور: «إن الله لا يلعب بالنرد». لكن معظم العلماء الآخرين كانوا على استعداد لتقبل ميكانيك الكم لأنه يتفق تماماً مع التجربة. إنه، كنظرية بلغت من النجاح شأواً لم يبلغه سواها، يكمن في أعماق العلم

الحديث كله وتقنياته . إنه يتحكم في سلوك الترانزستورات والدارات المتكاملة المدموجة ، التي هي بيوت القصيد في الأجهزة الالكترونية كالتلفزيون والحواسيب (الكمبيوترات) ، وأساس الكيمياء الحديثة والبيولوجيا (علم الحياة) . وليس في الفيزياء من صعيد لم يطأْهُ بعد ميكانيك الكم ليتدخل في شؤونه حقاً ، سوى التثاقل وبنية العالم في المدى الواسع .



شكل ٤ ، ١

شكل ٤ ، ٢

شاشة

حاجز

منبع ضوئي

مسار فوتون

ورغم أن الضوء مصنوع من أمواج، إلا أن فرضية بلانك تقول لنا بأنه، وبأسلوب ما، يتصرف وكأنه مؤلف من جسيمات: إنه لا يَصدر ولا يُستهلك إلا على شكل رزم، أي كموم. ويوحي أيضاً مبدأ هايزنبرغ في الارتياب بأن الجسيمات تتصرف، هي الأخرى وفي بعض الظروف، كأمواج لأنها غير ذات موقع معين بل « متفشية » في نقاط حيز وفق توزع احتمالي معين. إن نظرية ميكانيك الكم تستند على نوع من الرياضيات جديد تماماً، رياضيات لم تعد تصف العالم الحقيقي بلغة الجسيمات والأمواج، بل تشرح بهذه اللغة نتائج الأرصاد التي نجريها على العالم. فميكانيك الكم ينطوي إذن على مثنوية duality بين الأمواج والجسيمات: فتارة يكون من الأسهل اعتبار الجسيمات أمواجاً وتارة أخرى اعتبارُ الأمواج جسيمات. وكنتيجة مهمة لهذه المثنوية إمكانية أن نتكلم عن تداخل مجموعتي جسيمات كما نتكلم عن تداخل مجموعتي أمواج. خذ مثلاً أول، عن تداخل الأمواج. إن قمم إحدى المجموعتين يمكن أن تلتقي ودياَن المجموعة الأخرى، فتفني إحداهما الأخرى بدلاً من أن تعززها بالانضمام معاً كي تنشأ، كما يمكن أن نتوقع، موجة أقوى (شكل ٤، ١). وكمثال على ذلك نسوق في حالة الضوء تداخلات الألوان التي تُرى غالباً على فقاعة الصابون. إنها تنشأ عن تداخل الضوء المنكسر والضوء المنعكس عند هذا الوجه وذاك من الغشاء المائي الذي يشكل الفقاعة. والضوء الأبيض، كما نعلم، يتألف من مزيج أمواج ذات أطوال موجية مختلفة شتى، أي من ألوان مختلفة. فمن أجل أطوال موجية معينة يمكن للأمواج القادمة من أحد الوجهين أن تنطبق قممها على وديان الأمواج القادمة من الوجه الآخر لفقاعة الصابون. وعندئذ نفتقد ألوان هذه الأمواج في الضوء الذي ينعكس نحونا، فنرى الفقاعة ملونة بالألوان الباقية.

وكمثال على تداخل الجسيمات بسبب المثنوية التي جاء بها ميكانيك الكم، نسوق كتمهيد تجربة الشقين (شكل ٤، ٢). نستخدم لوحاً غير شفاف نفتح فيه شقين ضيقين متوازيين. نضع في إحدى جهتي اللوح، على مسافة منه، منبعاً ضوئياً ذا لون معين (أي طول موجة معين). يمر قسم ضئيل من الضوء عبر الشقين إلى الجهة الثانية وينحجب القسم الأكبر الباقي بجدار اللوح. لنضع في الجهة الثانية شاشة تستقبل الضوء النافذ من الشقين على كل نقطة منها. إن المسافة التي يقطعها الضوء بين المنبع والشاشة تختلف باختلاف نقطة

الوصول إلى الشاشة، كما تختلف باختلاف الشق الذي مر منه الضوء؛ وبسبب ذلك يحدث اختلاف بين طوري الموجتين القادمتين من الشقين باختلاف نقطة اللقاء على الشاشة. فهناك نقاط يتفق فيها الطوران (أي تتضافر القمتان) فنحصل على نور أعظمي، كما يوجد نقاط يتعاكس فيها الطوران (أي حيث يلتقي واد وقمة فيتفانيان) فنحصل على ظلام؛ وبين هذه وتلك أضواء متفاوتة الخفوت. فتكون النتيجة مجموعة أهداب مضيئة ومظلمة على التناوب مميزة لظاهرة التداخل.

الملحوظ، وهنا بيت القصيد، أننا نحصل على هذه الصورة الهدبية إذا بدلنا منبع الضوء بمنبع جسيمات، إلكترونات مثلاً، تتحرك كلها نحو الشقين بسرعة واحدة (هذا يعني أن الأمواج المواكبة للجسيمات ذات طول موجي واحد). يحدث عندئذ شيء غريب جداً، لأننا إذا أغلقنا أحد الشقين لا نحصل على أي هدب بل تتوزع الإلكترونات على نقاط الشاشة بالتساوي. وقد نظن أننا لو فتحنا أيضاً ذلك الشق (الشقان مفتوحان) فلن نحصل إلا على مزيد من الإلكترونات في كل نقطة من الشاشة. لكن التجربة تبين أن عدد الإلكترونات ينقص في بعض المناطق. ولو أرسلنا الإلكترونات واحداً بعد آخر نحو الشقين نتوقع أن يمر كل منها عبر هذا الشق أو ذاك وأن تتصرف بالضبط كأنَّ الشق الذي يعبره الإلكترون كان وحيداً ـــ فنحصل على توزع بالتساوي على الشاشة. لكن الواقع الذي نراه هو حصول أهداب (كتلك التي رأيناها في حالة الضوء) ولو كانت الإلكترونات مرسلة فرداً فرداً، وهذا لا يتفسر إلا إذا قبلنا أن كل إلكترون قد مر عبر الشقين كليهما في وقت واحد!.

إن ظاهرة التداخل بين الجسيمات كانت حاسمة في فهم بنية الذرة. والذرات هي الوحدات الأساسية في الكيمياء والبيولوجيا واللبناتُ التي صُنعنا نحن منها. وفي بداية هذا القرن كان يُظن أن الذرات تشبه منظومة شمسية تدور فيها الالكترونات (وهي جسيمات ذات شحنة كهربائية سالبة)، كالكواكب، حول نواة مركزية ذات شحنة موجبة. وكان المفروض أن يقوم التجاذب بين الشحنات الموجبة والشحنات السالبة بمهمة الاحتفاظ بالالكترونات في مداراتها، كما يفعل التجاذب التثاقلي للاحتفاظ بالكواكب في مداراتها حول الشمس. لكن المشكلة هي أن قوانين الميكانيك والكهرباء كانت، قبل ظهور ميكانيك الكمِّ، تتنبأ بأن الإلكترونات تفقد بالتدريج قسطاً من طاقتها أثناء الدوران، مما كان سيجبرها

على « التحلزن » في مسارها حتى تسقط على النواة . وهذا يعني أن الذرات ، والمادة برمتها ، لا بد أن تنهارا حتى تبلغا حالة عالية الكثافة . وقد جاء حل جزئي لهذه المشكلة من آراء العالم الدانمركي نيلز بور N.Bohr عام ١٩١٣ ، فقد اقترح فكرة أن الالكترونات قد تعجز عن الدوران على بعض المسافات من النواة المركزية بل تختار مسافات نوعية معينة . وإذا افترضنا أيضاً أن إلكتروناً أو اثنين يدوران على واحدة أو اثنتين من المسافات المتاحة المختارة فإن مشكلة انهيار الذرة تصبح محلولة لأن الالكترونات لا يمكن أن تقترب من النواة إذا كانت بقية المدارات المتاحة ، ذات الطاقة الأضعف ، التي تحتها مشغولة .

لقد نجحت نظرية بور تماماً في شرح بناء أبسط الذرات ، تلك التي تحوي إلكتروناً واحداً دائراً حول نواتها ، ذرة الهدروجين . ولكن كيف نعممها على ذرات أقل بساطة؟ لم يكن هذا واضحاً . كما أن فكرة مجموعة محدودة من المدارات المباحة تبدو مجانية . لكن النظرية الجديدة في ميكانيك الكم تحل هذه المشكلة . ذلك أنها تقول بأن الالكترون الدوار حول النواة يمكن اعتباره موجة طولها يتعلق بالسرعة . وطول بعض المدارات لا بد أن يساوي عدداً صحيحاً (غير كسري) من طول موجة الالكترون المستقر عليها ، مما يجعل قمة الموجة تحتل الموقع نفسه من المدار في كل دورة ، فيكون المدار مسار الموجة : وهذه المدارات تطابق مدارات بور المباحة . أما المدارات الأخرى ، التي طولها لا يساوي عدداً صحيحاً من طول الموجة ، فسيتفق لكل قمة فيها أن تنعدم بالوادي الحاصل من مرور الالكترون مرات أخرى بها ؛ فهذه المدارات تكون غير مباحة .

إن فكرة « تكامل الطرق » ، التي أدخلها العالم الأمريكي رتشارد فاينمان R.Feynman ، طريقة جميلة لأخذ صورة عن المثنوية موجة / جسيم . ليس أمام الجسيم ،في هذا التناول ، طريق واحد ، أي مسار واحد في الزمكان ، كما كانت الحال في النظرية التقليدية غير الكمومية ، بل إن الجسيم يذهب من A إلى B على كل الطرق الممكنة . ويتعلق بكل مسار عددان : أحدهما يمثل كبر الموجة والآخر ظرفها (أي ما إذا كانت في قمة أو في واد) في الدورة ، ويحُصل على احتمال الوصول إلى B انطلاقاً من A بجمع أمواج كل المسارات . وبصورة عامة لو قارنا مجموعة مسارات متجاورة فيما بينها لوجدنا أن أطوارها ــ أي ظروفها في الدورة ــ تختلف فيما بينها اختلافاً كبيراً . وهذا يعني أن الأمواج المواكبة لهذه المسارات تتفانى كلها تماماً بالانضمام

معاً. ومع ذلك يوجد بضع مجموعات من المسارات المتجاورة لا يختلف فيها الطور كثيراً من مسار لآخر، ومضمومة الأمواج لا تنعدم من أجل هذه المسارات. وقد تبين أن هذه المسارات تنطبق على مدارات بور المباحة.

وبلغة الرياضيات المحسوسة أصبح من البسيط نسبياً، بفضل هذه الأفكار، حساب المدارات المباحة في ذرات أعقد من الهدروجين، كما في الجزيئات المركبة من ذرات متماسكة معاً بوساطة الكترونات تدور على مسارات تحيط بأكثر من نواة واحدة. ولما كانت بنية الجزيئات وتفاعلاتها تحكم الكيمياء البيولوجيا، فإن ميكانيك الكم يتيح مبدئياً أن نتنبأ تقريباً بكل ما يحدث حولنا، في الحدود التي يسمح بها مبدأ الارتياب (ومع ذلك يصبح الحساب، عملياً ومن أجل جمل تحوي أكثر من بضعة الكترونات، معقداً لدرجة يتعذر علينا اجراؤه).

وهكذا يبدو أن نظرية النسبية العامة تتحكم ببنية العالم في المدى الواسع. وهي نظرية توصف بأنها تقليدية، بمعنى أنها لا تأخذ بالحسبان مبدأ الارتياب الكمومي، وهو شيء ضروري لضمان انسجامها مع نظريات أخرى. ولئن كان هذا النقص لا يؤدي إلى أي اختلاف مع النتائج التجريبية عندما نتعامل مع جمل ذات حقول ثقالية ضعيفة جداً، إلا أن النظريات التي تتناول المتفردات التي شرحناها فيما سبق من هذا الكتاب تنبىء بأن الحقل الثقالي لا بد أن يصبح شديداً جداً في حالتين على الأقل: الثقوب السوداء والانفجار الأعظم. وفي أمثال هذا الحقل الشديد لا بد أن تصبح المفعولات الكمومية ذات أهمية كبيرة. ومغزى ذلك إذن أن النسبية العامة تحكم، من خلال تنبؤاتها بكثافة لا نهائية، على نفسها بالموت، تماماً كما يحكم الميكانيك التقليدي (أي غير الكمومي) على نفسه بالموت من خلال إيحائه بأن الذرات لا بد أن تنهار على نفسها نحو كثافة لا نهائية. ونحن لا نملك حتى اليوم نظرية منسجمة ذاتياً توحّد ما بين النسبية العامة وميكانيك الكم، لكننا نعلم عدداً من خصائصها. وسنتكلم في الفصول القادمة عن نتائجهما. أما الآن فسنتجه نحو المحاولات الحديثة في صهر أفكارنا، عن القوى الأخرى القائمة في الطبيعة، في نظرية كمومية موحدة واحدة.

٥ الجسيمات العنصرية وقوى الطبيعة

كان أرسطو يرى أن كل المادة في العالم تتألف من أربعة عناصر أساسية: التراب والهواء والنار والماء. وهذه العناصر تحركها قوتان: الثقالة، نزوع التراب والماء إلى السيلان، والخفة، نزوع الهواء والنار إلى الارتفاع. إن تقسيم محتويات العالم إلى مادة وقوى ما يزال معمولاً به حتى اليوم.

كان أرسطو يظن أن المادة مستمرة، أي أن بالإمكان تجزئة أية قطعة مادية إلى فتات أصغر فأصغر إلى ما لا نهاية له؛ ولا يمكن أبداً الحصول على حبة مادية غير قابلة للانقسام. لكن بعض الأغريق، كديمقريطس، كانوا يدعون أن المادة حبيبية في كنهها وأن كل شيء مصنوع من عدد كبير من أنواع ذرات مختلفة. وقد طال الجدل في هذا الشأن قروناً عديدة دون أي برهان حقيقي لا من هؤلاء ولا من أولئك، إلى عام ١٨٠٣ حين لفت الكيميائي والفيزيائي البريطاني دالتون J.Dalton النظر إلى أن كون المركبات الكيميائية ذات نسب داخلية معينة يمكن أن يتفسر إذا قبلنا بفكرة ذرات atoms تتجمع معاً فتشكل وحدات تسمى جزيئات molecules. ومع ذلك لم يحسم الجدل بين المذهبين، نهائياً ولصالح الذريين، إلا في السنوات الأولى من القرن العشرين. كان أينشتاين أول من قدم أحد الجوانب الرئيسية للبرهان على ذلك. فقد لفت النظر، في مقالة ظهرت عام ١٩٠٥ وقبل أسابيع من مقالته الشهيرة عن النسبية الخاصة، إلى أن ما نسميه الحركة البراونية (نسبة إلى براون Brawn وهي

حركة اضطراب فوضوية تقوم بها حبيبات غبار صغيرة سابحة في سائل راكد) يمكن أن تُفسر على أنها ناجمة عن اصطدامات ذرات السائل بحبيبات الغبار .

كان يُظن أيضاً ، حتى ذلك الوقت ، أن هذه الذرات قد لا يمكن تقسيمها أبداً . وقبل بضعة أعوام كان تومسون J.J.Thomson قد برهن على وجود جسيم مادي ، سموه إلكتروناً ، له كتلة أقل من واحد في الألف من كتلة أخف الذرات . وقد استخدم في ذلك جهازاً يشبه أنبوب شاشة تلفزيون اليوم : كان فيه سلك معدني يتوهج بالتسخين مصدراً الكترونات يتناولها بالتسريع ، بفضل ما تحمله من شحنة كهربائية سالبة ، حقل كهربائي إلى شاشة مطلية بمادة تتألق حال سقوط أمثال هذه الجسيمات عليها . وما لبثوا أن تبينوا أن هذه الالكترونات يجب أن تكون خارجة من جسم الذرات نفسها . ثم كان أن برهن الفيزيائي البريطاني رذرفورد E.Rutherford عام ١٩١١ على أن ذرات المادة ذات بنية داخلية هي الأخرى : مصنوعة من نواة بالغة الصغر وذات شحنة موجبة ويدور حولها عدد من الالكترونات . وقد استنتج ذلك من تحليل كيفية انحراف الجسيمات ألفا ــ وهي جسيمات ذات شحنة موجبة تصدر عن ذرات مشعة ــ عندما تصطدم بالذرات .

لقد ظُن في البدء أن نواة الذرة تتألف من الكترونات وعدد من الجسيمات المشحونة إيجابياً سموها بروتونات ، على أساس أن كلمة بروتون Proton اليونانية تعني « الأول » لظنهم أن هذا الجسيم هو العنصر الأساسي في بناء المادة ، لكن أحد زملاء رذرفورد في كمبردج ، تشادويك J.Chadwick ، اكتشف عام ١٩٣٢ أن النواة تحوي جسيماً آخر ، سمي نتروناً neutron ، له كتلة بروتون تقريباً لكنه عديم الشحنة . وقد نال تشادويك جائزة نوبل على اكتشافه وانتخب عضواً في مجلس أعيان جامعة كمبردج (مجلس أنتمي إليه) ، لكنه استقال منه بعد مدة بسبب خلاف بينه وبين بقية الأعضاء . كان قد نشب جدال حاد عندما عاد من الحرب مجموعة شباب صوتوا لتنحية عدد كبير من الأعضاء الأكبر سناً عن التدريس ، بعد أن كانوا قد درَّسوا مدداً طويلة . كان ذلك قد حدث قبلي ، فقد دخلتُ هذه المؤسسة عام ١٩٦٥ بعد انتهاء هذا الصراع ، حين اضطر إلى الاستقالة عضو آخر حائز على جائزة نوبل ، السير نيفيل موت Sir.N.Mott .

لقد ظل الاعتقاد ، بأن البروتون والنترون « عنصران » أساسيان ، سائداً إلى عشرين سنة

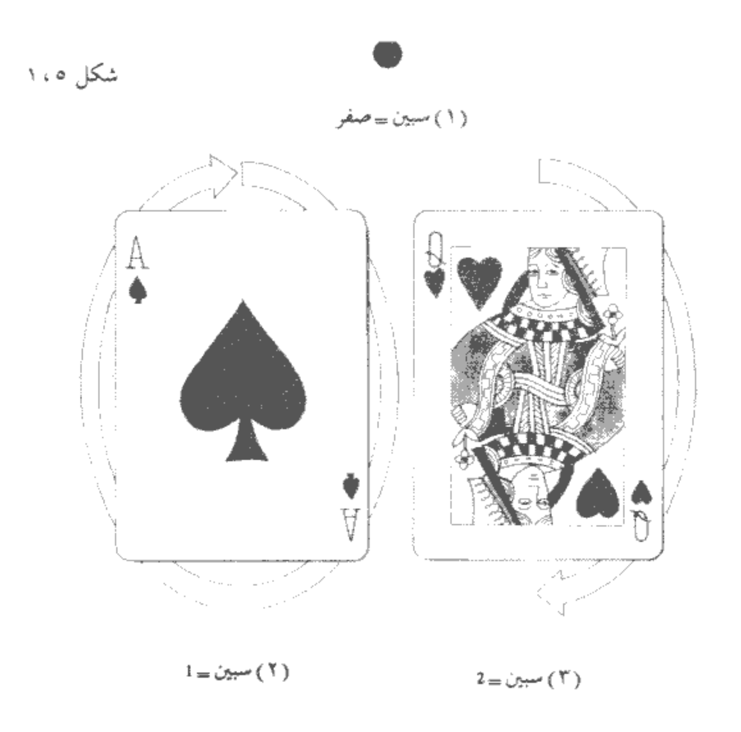
خلت ؛ لكن تجارب التصادم العنيف فيما بين البروتونات ، ومع الالكترونات السريعة ، بينت أن البروتونات نفسها مؤلفة من جسيمات أصغر منها ، دعيت هذه الجسيمات باسم كواركات quarks باقتراح من الفيزيائي موري جيل — مان M.Gell-Mann من كالتك Caltech ، الذي حاز على جائزة نوبل عام ١٩٦٩ . وأصل هذه الكلمة جملة غامضة وردت في أحد كتب جيمس جويس : « ثلاثة كواركات للسيد مارك ! » . وكلمة كوارك هي على قافية كلمة لارك lark (وهي تعني بالانكليزية « مزحة » أو « قبَّرة » ، الطائر المعروف) .

إن للكواركات أنواعاً عديدة : إن لها على الأقل ست نكهات flavours نسميها : العلوي up والسفلي down والغريب strange والمفتون Charmed والقعري bottom والذروي top ، ولكل نكهة ثلاثة ألوان : أحمر وأخضر وأزرق (نلح على أن هذه التسميات ليست أكثر من « لصاقات » . إن الكواركات أصغر بكثير جداً من طول موجة الضوء المرئي . فهي إذن عديمة اللون تماماً بالمعنى العادي لكلمة لون . والأمر ببساطة هو أن فيزيائيي اليوم يبدون ذوي خيال أوسع من خيال أسلافهم في اختراع أسماء للجسيمات والظواهر الجديدة ، إنهم لا يكتفون باستمدادها من اللغة اليونانية !) إن البروتون والنترون مصنوعان كل منهما من ثلاثة كواركات ، كل واحد من لون . البروتون مصنوع من كواركين علويين وكوارك سفلي ، والنترون من كواركين سفليين وواحد علوي . ونحن نستطيع صنع جسيمات من الكواركات الأخرى (الغريبة ، المفتونة ، القعرية ، الذروية) لكن كتلها تكون أكبر بكثير وتتفكك بسرعة إلى بروتونات ونترونات .

نحن نعلم اليوم إذن أن الذرات ، وحتى البروتونات والنترونات ، قابلة للتجزئة . فمن هي إذن الجسيمات العنصرية ، اللبنات الأولية الأساسية حقاً في كل مصنوعات هذا الكون ؟ إننا لا نستطيع ، بسبب عظم أطوال موجات الضوء المرئي بالنسبة لحجم الذرة ، أن نأمل في أن نرى بالعين الأجزاء المختلفة للذرة . لا بد لنا إذن من اللجوء إلى شيء ذي طول موجة أصغر بكثير . وقد رأينا في الفصل السابق أن ميكانيك الكم يقول بأن كل الجسيمات أمواج ، وأن الجسيم كلما ازدادت طاقته صغر طول موجته . وعلى هذا فإذن خير جواب يمكن أن نعطيه عن السؤال السابق يتعلق بعظم طاقة الجسيم ، لأن هذه الطاقة تعيِّن بمقدارها سلّم الأطوال الموجية التي تتيح لنا رؤيتها . وهذه الطاقات تقاس غالباً بوحدة تسمى

الكترون ــ فولت . (لقد ذكرنا أن ثومسون استخدم في تجاربه على الالكترونات حقلاً كهربائياً لتسريعها ؛ فالطاقة التي يكتسبها الالكترون عندما يجتاز فولتاً واحداً في هذا الحقل تسمى الكترون ــ فولت) وفي القرن التاسع عشر ، عندما كانت الطاقة التي نتعامل معها في التفاعلات الكيميائية صغيرة من رتبة بضعة الكترون ــ فولت كما في الأكسدة ، كان يُظن أن الذرات هي أصغر الوحدات في الكون . ثم استخدم رذرفورد في تجاربه جسيمات ألفا ذات طاقة من رتبة عدة ملايين الكترون ــ فولت . لكننا تعلمنا اليوم استخدام طاقات كهرطيسية لانتاج جسيمات ذات طاقة تبلغ ملايين الالكترون ــ فولت ثم ملياراته . وعلى هذا علمنا أن الجسيمات التي كنا ، قبل عشرين سنة ، نظنها « عنصرية » مؤلفةٌ في الواقع من جسيمات أصغر منها . فهل سنكتشف ، ونحن نتوصل إلى طاقات أعلى فأعلى ، أن هذه الصُغَريات مصنوعة هي الأخرى من أشياء أصغر منها ؟ إن هذا ممكن بالتأكيد ، لكننا نملك بضعة أسباب نظرية معقولة تبيح لنا الاعتقاد بأننا اليوم على معرفة باللبنات الأساسية الأولى في بناء الطبيعة ، أو على قاب قوسين أو أدنى منها .

شكل ٥ ، ١



إن كل شيء في العالم، بما في ذلك الضوء والتثاقل وبفضل المثنوية موجة / جسيم، يمكن أن نتحدث عنه بلغة الجسيمات. والجسيمات تتمتع بخاصية اسمها سبين Spin. ولتصور السبين طريقة تقول بتخيل الجسيمات كأنها دوارة على نفسها، كالدوامة حول محورها. ولكن يجب الانتباه إلى أن هذه الصورة خادعة: إن ميكانيك الكم يؤكد أن الجسيمات ليس لها أي محور معين بدقة. أما ما يمثله سبين الجسيم حقاً فهو مظهره عندما ننظر للجسيم وفق مناحٍ مختلفة. فالجسيم الذي سبينه صفر يشبه نقطة من أية زاوية نظرنا إليه (شكل ٥، ١، ١). والجسيم الذي سبينه يساوي 1 يشبه السهم: يختلف مظهره باختلاف منحى النظر (شكل ٥، ١، ٢) ولا يعود إلى مظهره الأول إلا إذا دار دورة كاملة (٣٦٠°). أما الجسيم الذي سبينه يساوي 2 فيشبه سهماً ذا رأسين (شكل ٥، ١، ٣) ينطبق على نفسه بعد نصف دورة (١٨٠°). وعلى غرار ذلك فإن السبينات الأكبر تسترد مظهرها بعد تدويرها أجزاء صغيرة من الدورة الكاملة. كل هذا يبدو بسيطاً، لكن الجدير بالملاحظة هو وجود جسيمات لا تسترد مظهرها عندما ندورها دورة كاملة، بل إن ذلك يستدعي تدويرها دورتين كاملتين! إن هذه الجسيمات ذات سبين يساوي $\frac{1}{2}$.

إن جميع الجسيمات المعروفة في العالم يمكن حصرها في زمرتين: فتلك التي سبينها يساوي $\frac{1}{2}$ تشكل مادة هذا العالم، أما التي سبينها يساوي 0 أو 1 أو 2 فهي، كما سنرى، تحتضن القوى العاملة بين جسيمات المادة[١]. وجسيمات المادة تذعن لـ«مبدأ الانتفاء exclusion» الذي اكتشفه باولي W.Pauli، الفيزيائي النمساوي، عام ١٩٢٥ وحاز على جائزة نوبل عام ١٩٤٥. كان هذا الرجل مثال الفيزيائي النظري؛ كان يقال عنه إن مجرد وجوده في مدينة ما يؤدي إلى فشل التجارب! إن مبدأه في الانتفاء يقول بأنه لا يمكن لجسيمين متماثلين أن يوجدا في حالة واحدة، أي لا يستطيعان أن يحتلا معاً الموضع نفسه ولا أن يكون لهما السرعة ذاتها ضمن الحدود التي يرسمها مبدأ الارتياب (أي أن وجود أحدهما في حالة معينة ينفي وجود الآخر فيها). فهو إذن مبدأ مهم جداً لأنه يعلل لماذا لا تنهار جسيمات المادة نحو حالة ذات كثافة عظيمة جداً بفعل القوى التي تحملها الجسيمات التي سبينها 0 أو 1 أو 2:

(١) فنسميها «الجسيمات حاملة القوى» أو «الجسيمات الوهمية».

إذا كان لجسيمات المادة مواضع متجاورة جداً فلا بد من أن يكون لها سرعات مختلفة، مما يعني أنها لا تبقى مدة طويلة في موضع واحد. ولو كان العالم قد خلق بدون مبدأ الانتفاء لما استطاعت الكواركات تشكيل بروتونات ونترونات منفصلة ومعينة تماماً، ولا استطاع هذان الجسيمان أن يشكلا، بالاشتراك مع الالكترونات، ذرات منفصلة ومعينة تماماً، بل إنها كانت ستنهار متهافتة كلها لتشكل خليطاً شبه متجانس وكثيفاً جداً.

وهناك نظرة مقبولة، للالكترون والجسيمات الأخرى ذات السبين النصفي، نشأت عام ١٩٢٨ مع نظرية اقترحها ديراك، وتسنم بعدها كرسي الرياضيات في كمبردج (الذي احتله نيوتن في عصره وأحتله أنا اليوم). كانت نظرية ديراك أولى النظريات التي تجمع ميكانيك الكم والنسبية الخاصة. إنها تشرح رياضياً لماذا كان الالكترون نصفيَّ السبين، أي لماذا لا يعود مماثلاً لنفسه بعد تدويره دورة واحدة كاملة، بل يحتاج من أجل ذلك دورتين. وتتنبأ أيضاً بأن للالكترون شريكاً أسماه الالكترون المضاد، أو البوزترون Positron؛ وقد جاء اكتشاف هذا الجسيم، عام ١٩٣٢، شاهداً على صحة نظرية ديراك فاستحق جائزة نوبل عام ١٩٣٣. ونحن نعلم اليوم أن لكل جسيم جسيماً مضاداً يمكن له أن يتفانى معه (إن الجسيمات المضادة للجسيمات حاملة القوى هي الجسيمات نفسها.) ويمكن أن يوجد عالم مضاد وبشر مضادون مصنوعون من جسيمات مضادة. لكنك إذا صادفت مضادك فحذار أن تصافحه، لأنك إن فعلت فستفنيان معاً في بارق ضوئي عنيف. ولكن لماذا كان عدد الجسيمات في هذا العالم أكبر بكثير من عدد الجسيمات المضادة؟ إنها مسألة مهمة سنعود إليها في هذا الفصل بعد قليل.

يُفترض أن تكون القوى في ميكانيك الكم ـــ وتسمى أيضاً التفاعلات بين جسيمات المادة ـــ محمولةً كلها على جسيمات ناقلة للقوى وذات سبينات تساوي 0 أو 1 أو 2. أي أن جسيم المادة، كالالكترون والكوارك، يصدر جسيماً حامل قوة، وارتداد جسيم المادة عند الاصدار يغير سرعته.ثم يصدم الجسيم حامل القوة جسيماً مادياً آخر يمتصه فتتغير سرعة الجسيم الماص أيضاً، فيحصل التفاعل إذن وكأن قوة فعلت فعلها بين الجسيمين الماديين.

هذا وإن تمرد الجسيمات حوامل القوى على مبدأ الانتفاء يضفي عليها خاصة مهمة. فهذا يعني أنه لا يوجد حد لعدد ما تتبادله جسيمات المادة منها. فنستطيع توليد قوة

شديدة. ومع ذلك، وإذا كان لحوامل القوى كتلة كبيرة، يصبح من الصعب انتاجها وتبادلها على مسافات كبيرة. أي أن القوى المحمولة عليها ذات مدى قصير. ومن جهة أخرى إذا كانت حوامل القوى عديمة الكتلة بحد ذاتها فإن القوى التي تولِّدها يمكن أن تكون ذات مدى كبير. إن هذه الجسيمات حوامل القوى، والمتبادلة بين جسيمات المادة، تسمى «وهمية» لأنها، بخلاف الجسيمات الحقيقية، لا يمكن إبرازها بوضوح في كواشف الجسيمات؛ لكننا نعلم أنها موجودة لأن لها مفعولات قابلة للقياس: إنها تولد تفاعلات بين جسيمات المادة. فالجسيمات التي سبينها 0 أو 1 أو 2 موجودة أيضاً في بعض الظروف كجسيمات حقيقية؛ عندها يمكن كشفها بشكل مباشر، وعندئذ تظهر على صورة ما يسميه الفيزيائيون أمواجاً، كأمواج الضوء والأمواج التثاقلية. ويمكن أحياناً أن تصدر عندما تتبادلها الجسيمات المادية في تفاعلاتها (كمثال على ذلك نسوق قوة التنافر الكهربائية بين الكترونين، فهي ناجمة عن تبادل فوتونات وهمية لا نستطيع كشفها بتاتاً، لكن إذا مرَّ الكترون قريباً جداً من الكترون آخر فإن فوتونات حقيقية يمكن أن تَصدر ونستطيع كشفها على شكل أمواج ضوئية).

إن الجسيمات حوامل القوى يمكن أن تصنف في أربعة أصناف، بحسب شدة القوة المحمولة عليها والجسيمات التي تتفاعل معها. ولكن لنؤكد مع ذلك أن هذا التقسيم إلى أربعة أصناف اصطناعي؛ إنه عملي لإنشاء نظريات جزئية، لكنه لا ينجم عن أي سبب أعمق. ومغزى ذلك كله أن عدداً كبيراً من الفيزيائيين يأملون في إيجاد نظرية موحدة تجعل من القوى الأربع مظاهر أربعة لقوة واحدة. ويرى معظم الفيزيائيين أن هذا هو الهدف الرئيسي لفيزياء اليوم. وقد حدث مؤخراً أن تكللت بالنجاح محاولات توحيد ثلاثة من أصناف القوى الأربعة ـــ سأتكلم عنها في هذا الفصل؛ أما مسألة ضم الرابعة ـــ الثقالة ـــ فسأتحدث عنها فيما بعد.

الصنف الأول: القوة الثقالية: إنها قوة عالمية، أي أن كل الجسيمات تشعر بقوة الثقالة بما يتناسب مع كتلتها وطاقتها. والثقالة هي أضعف القوى عن بعد: إنها ضعيفة لدرجة أننا ما كنا لنشعر بها لولا خاصتيها المميزتين: طول مداها الكبير جداً وكونها تجاذبية دوماً. وهذا يعني أن القوى الثقالية، رغم أنها ضعيفة جداً بين الجسيمات الإفرادية المنتمية إلى

جسمين ضخمين كالشمس والأرض، تتضافر بالانضمام معاً حتى تبلغ قيماً محسوسة. أما القوى الثلاث الأخرى فهي إما ذات مدى قصير وإما تجاذبية تارة وتنافرية تارة أخرى، مما قد يؤدي إلى انعدام حصيلتها. ولدى تناول الحقل الثقالي في ميكانيك الكم نعامل القوة بين جسيمي مادة على أنها محمولة على جسيم سبينه 2 ونسميه غرافيتون graviton. ليس للغرافيتون كتلة أصيلة، مما يجعل القوة التي يحملها ذات مدى فاعل كبير. فالقوة الثقالية بين الشمس والأرض تُعزى إلى غرافيتونات تتبادلها الجسيمات المكونة لهذين الجسمين. ورغم كون هذه الجسيمات المتبادلة وهمية إلا أن مفعولها يمكن قياسه: دوران الأرض حول الشمس! إن الغرافيتونات الواقعية هي جذور ما يسميه الفيزيائيون باللغة التقليدية أمواجاً ثقالية، وهي ضعيفة جداً ــ إن كشف هذه الأمواج صعب لدرجة أنها لم يمكن رصدها حتى اليوم.

الصنف الثاني: القوة الكهرطيسية: التي تعمل بين الجسيمات المشحونة بالكهرباء، كالالكترونات والكواركات، لكنها عديمة الأثر بين الجسيمات اللامشحونة. إنها أشد بأساً من القوة الثقالية؛ فقيمتها بين الكترونين أكبر بحدود مليون مليار مليار مليار(واحد متبوع بـ ٤٢ صفراً) مرة من قوة الثقالة بينهما. لكن الشحنات الكهربائية من نوعين: موجبة وسالبة. والقوة بين شحنتين من نوع واحد تنافرية، في حين أنها تجاذبية بين شحنتين من نوعين مختلفين. والجسم الكبير، أياً كان، كالشمس والأرض مثلاً، يحوي عددين متساويين تقريباً من الموجبة والسالبة. وعلى هذا فإن حصيلتي التجاذب والتنافر ضمن مجموعة جسيمات إفرادية تتعادلان وتتفانيان تقريباً، فلا يبقى مما نشعر به فيما بينها سوى قوة كهرطيسية ضعيفة جداً. أما في سلّم الذرات والجزيئات الكيميائية فالقوى الكهرطيسية هي الطاغية. والتجاذب الكهرطيسي بين الالكترونات، المشحونة سلبياً، والبروتونات المشحونة إيجابياً في نواة الذرة هو الذي يجعل إلكتروناتها تدور حول النواة، كما تدور الأرض حول الشمس بفعل التجاذب الثقالي. والتجاذب الكهرطيسي محمول على عدد من الجسيمات الوهمية عديمة الكتلة سبينها يساوي 1، تسمى فوتونات، تتبادلها الشحنات الكهربائية. ومع ذلك، وعندما يقفز إلكترون من مدار مباح إلى مدار مباح آخر أقرب إلى النواة، تتحرر طاقة كهرطيسية تخرج من الذرة على شكل فوتون حقيقي وهذا ما يتاح رصده ضوءاً مرئياً إذا كان طول الموجة المواكبة بالمقدار الذي تتحسس به العين، وإلا فنستطيع استخدام كاشف

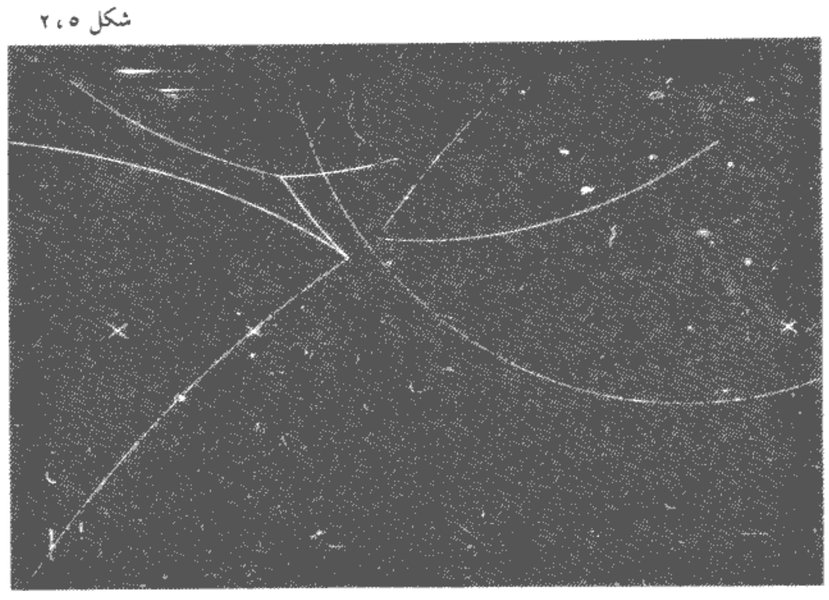
فوتوني، كألواح (أفلام) التصوير الفوتغرافي مثلاً. وبالمقابل لو اصطدم فوتون حقيقي بالذرة لأُتيح له أن ينبذ الكتروناً من مداره إلى مدار أبعد عن النواة مستهلكاً طاقة الفوتون الذي يختفي بالامتصاص.

الصنف الثالث: التفاعل النووي الضعيف، المسؤول عن النشاط الإشعاعي الصادر عن بعض النوى. إنه يفعل فعله في كل جسيمات المادة التي سبينها يساوي $\frac{1}{2}$، ويعف عن الجسيمات التي سبينها 0 أو 1 أو 2، كالفوتونات والغرافيتونات. والتفاعل النووي الضعيف لم يُفهم جيداً إلا عام ١٩٦٧ حين اقترح محمد عبد السلام، من امبريال كوليج في لندن، ومعه ستيفن واينبرغ Weinberg من هارفارد، النظريات التي وحدت القوة النووية الضعيفة مع القوة الكهرطيسية، على غرار ما فعل مكسويل قبلهما بحوالي مئتي عام حين وحد الكهرباء والمغنطيسية. فقد قالا بوجود ثلاثة جسيمات أخرى، غير الفوتون، سبينها 1 وتعرف اليوم باسم البوزونات الشعاعية (أو المتجهة vectorial bosons) الثقيلة، وهي حوامل التفاعل الضعيف، ورموزها المعتمدة هي: W^+ و W^- و Z°، ولكل منها كتلة تعادل ١٠٠ جاف تقريباً (إن كلمة جاف هي مختصر عبارة جيغا الكترون ــ فولت، وكلمة جيغا giga تعني ملياراً). إن نظرية عبد السلام وواينبرغ تبرز بوضوح خاصية اسمها الانكسار التلقائي للتناظر. وهذا يعني وجود جسيمات تبدو متخالفة تماماً في مجال الطاقات المنخفضة لكنها تتجلى في الواقع جسيماتٍ من نوع واحد يتخذ حالات متخالفة، أي أنها تتصرف في مجال الطاقات العالية بأساليب متماثلة. وهذا يشبه سلوك كرية الروليت roulette في لعبة القمار المعروفة. ففي الطاقات العالية (عندما تُطلق قاعدة الروليت الدوارة والكرية بسرعة كبيرة) نرى الكرية تتصرف بشكل واحد: تقوم بدورة إثر دورة. لكن عندما تصبح سرعة دوران القرص بطيئة تتناقص طاقة الكرية حتى تنتهي بالسقوط في إحدى الحفر الصغيرة التي عددها ٣٧ عند محيط القرص. وبلغة أخرى نقول: يوجد في الطاقة المنخفضة ٣٧ حالة متخالفة يمكن للكرية أن تسقط في واحدة منها. فإذا كنا لا نستطيع، لسبب أو لآخر، رؤية الكرية إلا في طاقة منخفضة فقد نظن أنه يوجد ٣٧ كرية مختلفة!.

إن الجسيمات الجديدة الثلاثة، في نظرية عبد السلام وواينبرغ وفي طاقات تفوق

١٠٠ جاف ، يجب أن تتصرف هي والفوتون بشكل واحد ؛ أما في الطاقات المنخفضة ، وهي الأكثر شيوعاً فيما نصادفه ، فإن هذا التناظر بين الجسيمات لا بد أن ينكسر . وهذه الجسيمات W^+ , W^- , Z° يجب أن تكون كبيرة الكتلة كي تكون القوى المحمولة عليها قصيرة المدى جداً . إن النظرية التي طرحها عبد السلام ووايبنبرغ لم تلق قبولاً في أول أمرها إلا لدى نفر قليل من العلماء ، ولم تكن مسرعات الجسيمات قد بلغت بعد من الطاقة ما يكفي لتوفير الـ ١٠٠ جاف اللازمة لتوليد جسيمات حقيقية من النوع W^+ , W^- , Z° ، لكن نبوءات أخرى لهذه النظرية في الطاقات المنخفضة اكتسبت ، في العقد السنوي التالي ، شواهد تجريبية جيدة لدرجة أن استحقا عليها عام ١٩٧٩ جائزة نوبل بالتشارك مع شلدون غلاشو Glashow الذي طرح ، من هارفارد أيضاً ، نظريات مشابهة في توحيد القوى الكهرطيسية مع القوى النووية الضعيفة . وقد تنفست لجنة نوبل الصعداء عام ١٩٨٣ حين اكتشفت التجريبيون في سيرن CERN (المركز الأوروبي للأبحاث النووية ، في إحدى ضواحي جنيف ، بسويسرا) الشركاء الثلاثة للفوتون ، وبالكتل الكبيرة المتوقعة ، وخصائص أخرى . وكان أن أحرز كارلو روبيا Rubbia ، الذي قاد فريق الفيزيائيين (بضع مئات) الذين انجزوا هذا

شكل ٥ ، ٢



اصطدام بروتون وبروتون مضاد ونشوء زوجي كواركين شبه حرّين .

الاكتشاف ، على جائزة نوبل عام ١٩٨٤ بالتشارك مع سيمـون فان در مير Van der Meer المهندس الذي طور في سيرن مجموعة تخزين المادة المضادة التي استخدمت في هذه التجارب (إن من الصعب جداً في هذه الأيام أن تجري تجربة في فيزياء الجسيمات إذا لم تكن حقاً في قمة الهرم !) .

أما **الصنف الرابع** والأخير من القوى الأساسية في الطبيعة فهو **التفاعل النووي الشديد**، الذي يمسك بالكوراكات مضمومة في البروتون والنترون ، وبالبروتونات والنترونات معاً في نواة الذرة . يُعتقد أن هذه القوة محمولة على جسيم آخر سبينه 1 ، اسمه غليون gluon ولا يتفاعل إلا مع نفسه ومع الكواركات . وللتفاعل النووي الشديد خاصية عجيبة اسمها « الحصـر » confinement : إنها تربط الجسيمات دوماً في مضمومات ليس لها لون . أي أننا لا نستطيع الحصول على كوارك مفرد ذي لون ما (أحمر أو أخضر أو أزرق) . وبدلاً من ذلك لا بد أن يرتبط الكوارك الأحمر بكوارك أخضر وآخر أزرق برباط « حلقة » من الغليونات (أحمر + أخضر + أزرق = أبيض) . وأمثال هذه الثلاثية تشكل بروتوناً أو نتروناً . وهنـاك إمكانية أخرى هي : الزوجان كوارك / كوارك مضاد (أحمر + ضد الأحمر أو أخضر + ضد الأخضر أو أزرق + ضد الأزرق = أبيض) ، وأمثال هذه الأزواج تؤلف جسيمات ، معروفة باسم ميزونـات mesons ، قلقـة لأن الكـوارك والكـوارك المضاد يمكـن أن يتفانيـا معطـيين الكترونات وجسيمات أخرى . وبصورة مشابهة يمنع الحصر وجود غليـون معـزول ، لأن الغليونات لها أيضاً ألوانها ، فلا يمكن إذن أن نجد سوى مجموعة غليونات مضمومة ألوانها لتشكيل الأبيض . ومثل هذه المضمومة تشكل جسيمـاً قلقـاً يسمـى « طرد غليونـات glueball » .

إن الحصر الذي يمنعنا من عزل الكوارك أو الغليون يمكن أن يوحي بأن فكرة وجود هذين الجسيمين غيبية نوعاً ما . لكن للتفاعل النووي الشديد خاصية أخرى اسمها « الحرية التقاربية asymptotic freedom » تجعل مفهومي الكوارك والغليون معينين تماماً . ففي الطاقات العادية يكون التفاعل النووي الشديد شديداً حقاً ، أي يربط الكواركات معاً بشدة . على أن التجارب التي تستخدم المسرعات الضخمة للجسيمات تبين أن التفاعل الشديد يصبح أضعف في الطاقات العالية ، وأن الكواركات والغليونات تتصرف حقاً كجسيمات حرة . وفي

الشكل ٥، ٢ صورة فوتغرافية لاصطدام حصل بطاقة عالية بين بروتون وبروتون مضاد، ونتج عنه بضعة كواركات شبه حرة (حرة تقاربياً) ولَّدت بدورها المقذوفات التي ترى مساراتها في الصورة.

إن النجاح الذي أصابه توحيد القوتين، الكهرطيسية والنووية الضعيفة، قد شجع على القيام بعدد من المحاولات لضم التفاعل النووي الشديد في نظرية أسميناها «نظرية التوحيد الكبير، **ن ت ك**، Grand Unified Theory, GUT». وهذا عنوان طنان بعض الشيء لأن النظريات التي ينطوي عليها ليست «فخمة» بهذا القدر ولا توحِّد كل القوى لأن الثقالة ما تزال خارجها. وهي أيضاً ليست نظريات مكتملة لأنها تحوي عدداً من العوامل لا يمكن التنبؤ بقيمها من النظرية ذاتها، بل نضطر إلى اعتماد قيم لها بما يتفق مع التجربة. لكنها مع ذلك خطوة باتجاه نظرية مكتملة، موحدة تماماً. إن فكرة الأساس في **ن ت ك** هي التالية: بما أن التفاعل النووي يضعف، كما ذكرنا، في الطاقات العالية وأن القوتين، الكهرطيسية والنووية الضعيفة اللتين لا تتصفان بالحرية التقاربية، تشتدان في الطاقات العالية، فمن المتوقع أن تصبح القوى الثلاث متساوية الشدة في الطاقات العالية جداً، (فتسمى طاقة التوحيد الكبير) أي وجوهاً ثلاثة لقوة واحدة. وعلى هذا فإن **ن ت ك** تتنبأ بأن كل جسيمات المادة التي سبينها $\frac{1}{2}$، كالكواركات والالكترونات، لا بد أن تكون من جوهر واحد في الطاقات العالية جداً، فتنجز لنا توحيداً إضافياً.

إن طاقة التوحيد الكبير ليست معروفة جيداً، لكنها على الأرجح تحوم حول مليار جاف. وجيل مسرعات الجسيمات الحالي لا يتيح تصادماً بين الجسيمات بأكثر من حوالي مئة جاف، ويؤمل من الجيل القادم أن يزيد هذه القيمة إلى بضعة آلاف جاف. لكن المسرع الذي نحتاجه لبلوغ طاقة التوحيد الكبير يتطلب حجماً من رتبة المنظومة الشمسية، ولا أمل في تمويله في الظروف الاقتصادية الراهنة. وعلى هذا يستحيل علينا أن نمتحن مباشرة في المختبر نظريات التوحيد الكبير. ومع ذلك، وكما حصل بشأن نظرية توحيد الكهرطيسية والنووية الضعيفة، يمكن التحقق من بعض نتائجها في الطاقات المتاحة.

أهم هذه النتائج النبوءة التي تقول بأن البروتونات، التي تؤلف معظم المادة العادية،

يمكن أن تتفكك تلقائياً إلى جسيمات أخف، الالكترونات المضادة مثلاً. وسبب هذه الإمكانية أنه لا يوجد، في طاقة التوحيد الكبير، فرق جوهري بين كوارك والكترون مضاد. فالكواركات المضمومة في البروتون لا تملك في العادة طاقة تكفي لتتحول إلى الكترونات مضادة؛ لكن قد يحدث بمناسبة نادرة أن يكتسب أحدها طاقة تكفي لهذا التحول ــ إن مبدأ الارتياب يفيد بأن طاقة الكواركات ضمن البروتون لا يمكن تحديدها بالضبط. فالبروتون يجب أن يكون قابلاً للتفكك. لكن احتمال أن يكتسب الكوارك طاقة تكفي لحدوث ذلك ضئيل لدرجة أننا يجب أن نصبر ألف مليار مليار مليار (واحد متبوع بـ ٣٠ صفراً) سنة على الأقل ليكون لنا حظ معقول في رؤية أحدها يتفكك. وهذا زمن أطول من الزمن الذي انقضى منذ الانفجار الأعظم، الذي يعود تاريخه إلى عشرة مليارات (واحد متبوع بـ ١٠ أصفار) سنة فقط. وعلى هذا قد نظن بأن إمكانية التفكك التلقائي للبروتون يتعذر التحقق منها بالتجربة. ومع ذلك نستطيع أن نزيد في حظ كشف هذا التفكك، أثناء مراقبة كمية من المادة تحوي عدداً هائلاً من البروتونات. (إذا راقبنا مثلاً عدداً من البروتونات مساوياً واحداً متبوعاً بـ ٣٢ صفراً، فإننا نتوقع بموجب أبسط نظريات التوحيد الكبير أن نرى أكثر من تفكك واحد في السنة).

لقد جرى عدد من المحاولات التجريبية لهذا الغرض، لكن أياً منها لم يقدم بعدُ البرهان الحاسم على تفكك البروتون أو النترون. أحد هذه التجارب يستخدم ثمانية آلاف طن من الماء وضعت في منجم مورتون سولت في أوهايو (لتجنب الاختلاط بين الظاهرة المقصودة، تفكك البروتون، وتفككات أخرى سببها الأشعة الكونية). ولما كانت نتيجة هذه المراقبة سلبية حتى الآن فقد حُسب أن العمر الوسطي للبروتون لا بد أن يكون أكبر من عشرة آلاف مليار مليار مليار عام (واحد متبوع بـ ٣١ صفراً). وهذا زمن أكبر مما تتوقعه أبسط نظريات التوحيد الكبير. لكن هناك نظريات أخرى أقل بساطة تنبىء عن زمن أكبر. فلا بد إذن في سبيل هذا الهدف من تجارب أكثر حساسية وتتناول كمية من المادة أكبر بكثير.

قد تكون الصعوبة الكأداء التي تحول دون كشف تفكك البروتون التلقائي ناجمة عن أن وجودنا بالذات نتيجة للتحول المعاكس، أي تشكل البروتونات، وحتى الكواركات، من ظرف بدئي لا يفوق فيه عدد الكواركات عدد الكواركات المضادة، وهذه أبسط الطرق

الطبيعية في تخيل العالم في بداياته. إن مادة أرضنا مصنوعة أساسياً من بروتونات ونترونات، وهذه مصنوعة بدورها من كواركات. ولا يوجد بروتونات مضادة ولا نترونات مضادة مصنوعة انطلاقاً من كواركات مضادة، باستثناء بضعة وحدات انتجها الفيزيائيون في المسرعات الضخمة. ونحن لدينا، بفضل الأشعة الكونية، ما يثبت بأن ذلك أيضاً شأن كل المادة في هذا الكون: إنها لا تحوي بروتونات مضادة ولا نترونات مضادة، إذا استثنينا العدد الضئيل منها الذي ينشأ في التصادمات الجسيمية العنيفة على شكل أزواج جسيمات / جسيمات مضادة. ولو كان في مجرتنا مناطق كبيرة من المادة المضادة لكان من المتوقع أن نلاحظ كميات كبيرة من الإشعاع آتية من مناطق الحدود بين المادة والمادة المضادة حيث لا بد أن تحدث تصادمات عديدة بين جسيمات هذه وجسيمات تلك، محررة بتفانيها معاً إشعاعاً ذا طاقة عالية وارداً على الأرض.

وحالنا مع المجرات الأخرى، بصدد مادتها، لا يختلف عن حالنا مع مجرتنا: بروتونات ونترونات أو بروتونات مضادة ونترونات مضادة؛ هذا أو ذاك ولا مجال للتفكير بمزيج من هذا وذاك في مجرة واحدة، وإلا لكنا اكتشفنا سيلاً غزيراً من إشعاعات التفاني. فنحن نعتقد إذن أن كل المجرات مصنوعة من كواركات لا من كواركات مضادة؛ ويبدو من غير المعقول أن تكون بعض المجرات مصنوعة من المادة وبعضها الآخر من المادة المضادة.

لماذا كانت كمية الكواركات أكبر بكثير من كمية الكواركات المضادة؟ لماذا لا تتساويان؟ إن من حسن حظنا يقيناً أن لا تكون هاتان الكميتان متساويتين، إذ لولا ذلك لتفانت الكواركات المتجاورة كلها مع مضاداتها في بدايات العالم ولخلّفت لنا عالماً مفعماً بالإشعاع وشبه خال من المادة. كان العالم سيخلو من المجرات والنجوم، ومن الكواكب التي لا بد منها لظهور الحياة. ومن حسن حظ نظريات التوحيد الكبير أنها قادرة على تعليل فائض الكواركات على الكواركات المضادة في هذا العالم، حتى ولو كانا متساويين في البدء. فقد ذكرنا أن **ن ت ك** تبيح للكواركات أن تتحول إلى الكترونات مضادة في الطاقات العالية. وهي تبيح أيضاً التحولات المعاكسة الذاهبة من الكواركات المضادة إلى الالكترونات، ومن الالكترونات والالكترونات المضادة إلى كواركات وكواركات مضادة. فقد أتى على بدء العالم الأولي حينٌ كانت سخونته فيه شديدة لدرجة أن طاقات الجسيمات كانت كافية لحدوث هذه التحولات. ولكن لماذا كان الناتج كلَّ هذا الفائض من الكواركات على الكواركات المضادة؟

السبب هو أن قوانين الفيزياء ليست هي نفسها في حالي الجسيمات والجسيمات المضادة.

كنا قبل عام ١٩٦٥ نظن أن قوانين الفيزياء تذعن لثلاثة تناظرات متمايزة يرمز لها بـ C و P و T. فالتناظر C يعني أن هذه القوانين تنطبق على الجسيمات والجسيمات المضادة، والتناظر P يعني أن القوانين هي نفسها في أي ظرف وخياله في مرآة مستوية (معروف أن الجسيم الدوار في جهة عقارب الساعة له في المرآة خيال دوار في الجهة المعاكسة). أما التناظر T فيعني أنك إذا عكست اتجاه حركة كل جسيم وجسيم مضاد في جملة ما، فإن الجملة تعود أدراجها إلى ما كانت عليه، أو بعبارة أخرى، إن القوانين هي نفسها سواء سرت في اتجاه انسياب الزمن أو صعدت سلّمه نحو الماضي.

في عام ١٩٥٦ ادّعى فيزيائيان أمريكيان، تسونغ ـــ داو لي T.D.Lee وتشن نينغ يانغ C.N.Yang، أن التفاعل النووي الضعيف لا يذعن إذعاناً تاماً للتناظر P، أي أنه يبيح للعالم أن يتطور بأسلوب مخالف انطلاقاً من أسلوب تطور الخيال المرآتي للعالم. وفي العام نفسه أثبتت زميلتهما، تشين ـــ شيونغ وو C.S.Wu، بالتجربة أن ادعاءهما صحيح. وقد فعلت ذلك بأن رصفت نوى ذرية مشعة في حقل مغنطيسي وبما يجعلها تدوِّم كلها باتجاه واحد، فكان أن اتضح لها أن الالكترونات الصادرة عن النوى كانت في أحد اتجاهين أغزر منها في الاتجاه الآخر. وفي العام الذي تلاه نال لي ويانغ جائزة نوبل على تلك الفكرة، ثم اكتُشف أن التفاعل الضعيف هذا متمرد أيضاً على التناظر C، أي أن العالم لو كان مصنوعاً من جسيمات مضادة لما تصرف كما يفعل. وعندئذ تعلقت الآمال بأن يحترم التفاعلُ الضعيف التناظرَ المضموم CP؛ أي أن نحصل، بعد أن نأخذ الخيال المرآتي للعالم ونبدل فيه كل جسيم بمضاده، على عالم لا يختلف في شيء عن العالم الأصل. لكن فيزيائيين أمريكيين آخرين، كورنين J.W.Cornin وفيتش V.Fitch، بددا هذا الأمل عام ١٩٦٤ حين اكتشفا أن التناظر CP غير محترم في تفككات بعض الجسيمات المسماة بالميزونات K، فنالا جائزة نوبل عام ١٩٨٠. (لقد بينت هذه الاكتشافات أن العالم ليس على البساطة التي كنا نتوهمها).

يوجد نظرية رياضية تقول بأن كل نظرية مذعنةٍ لميكانيك الكم والنسبية معاً لا بد أن تكون مذعنة أيضاً للتناظر المضموم CPT. أي أننا إذا أُخذنا صورة العالم المرآتية وبدّلنا فيها كل

جسيم بمضاده ثم عكسنا اتجاه الزمن يجب أن نحصل على عالم لا يختلف عن الأصل. لكن كورنين وفيتش برهنا على أننا لو بدَّلنا كل جسيم بمضاده ثم أخذنا صورته المرآتية، دون أن نعكس اتجاه الزمن، نحصل على عالم لا يتصرف كالأُصل. إن قوانين الفيزياء تتغير إذا عكسنا اتجاه الزمن (لا تطيع إذن التناظر T).

من المؤكد أن العالم البدنيّ لا يطيع التناظر T: فالزمن ينساب والعالم يتوسع ــ ولو انعكس اتجاه الزمن لتقلص العالم. وبما أن فيه قوى غير مذعنة للتناظر T فإنها، في أثناء توسع العالم، تستطيع أن تصنع الكترونات مضادة متحولة إلى كواركات أكثر مما تصنع الكترونات متحولة إلى كواركات مضادة. وكلما ازداد توسع العالم وبرودته ازداد عدد ما يتفانى من كواركات مضادة وكواركات؛ ولما كان عدد الكواركات يفوق عدد الكواركات المضادة نستنتج أن عدد الكواركات الباقية يفوق بقليل عدد الكواركات المضادة. وهذه الكواركات الفائضة هي التي تشكل المادة التي نراها اليوم والتي نحن مصنوعون منها. وهكذا ترى أن وجودنا ذاته يمكن أن يعتبر شاهداً ــ كيفياً فقط ــ لصالح نظريات التوحيد الكبير؛ ومن شأن الارتيابات أن لا تتيح لنا التنبؤ بعدد الكواركات التي نجت من التفاني، حتى ولا بأن الكواركات، لا الكواركات المضادة، هي التي نجت. (لو كان الفائض كواركاتٍ مضادة لن يكون لدينا ما يمنع من تسمية الكواركات المضادة بكواركات، والعكس بالعكس).

إن نظريات التوحيد الكبير لا تحوي قوة الثقالة. وليس لهذا أهمية كبيرة لأن الثقالة قوة واهية لدرجة أن مفعولاتها يمكن أن تُهمل عادة لدى التعامل مع جسيمات عنصرية أو ذرات. لكن عظم مداها وكونها تجاذبية في كل حال يعنيان أن مفعولاتها تنضاف معاً دوماً. وعلى هذا، وضمن عدد كبير جداً من جسيمات المادة، تصبح قوى الثقالة هي المسيطرة. ولهذا السبب يتحكم التثاقل في تطور العالم ولدرجة أنه، في حال أجسام من حجم النجوم، يمكن أن يتغلب على كل القوى الأخرى ويتسبب في انهيار النجم على نفسه. وكان عملي في السبعينات مُركّزاً على الثقوب السوداء التي يمكن أن تتشكل في نهاية الانهيارات النجمية وبفضل اشتداد حقول التثاقل التي تحيط بها. وهذا ما أثار أولى الشبهات بخصوص أسلوب تأثير كل من النظريتين، ميكانيك الكم والنسبية العامة، في الأخرى ــ إحدى سمات نظرية كمومية في التثاقل نسعى إليها.

٦ الثقـــوبُ الســـوداء

إن عبارة «ثقب أسود» حديثة جداً. ابتدعها العالم الأمريكي ويلر J.Wheeler عام ١٩٦٩ لإطلاقها على تمثيل بياني لفكرة عمرها مئتا عام، أيام كان علم الضوء يراوح بين نظريتين: أولاهما، التي كان يدعمها نيوتن، تذهب إلى أن الضوء مصنوع من حبيبات، وتزعم الثانية أنه أمواج. ونحن نعلمُ اليوم أن كلتا النظريتين صحيحة. فبفضل المثنوية موجة / جسيم القائمة في ميكانيك الكم يمكن اعتبار الضوء موجة وجسيماً في آن معاً. ففي النظرية الموجية لم تكن صورة تفاعل الضوء مع الثقالة واضحة تماماً. لكننا في الصورة الجسيمية نستطيع أن نتوقع من الضوء أن يتأثر بالثقالة، كما تفعل قذيفة المدفع والصاروخ والكواكب. وقد كان يُظن بادئ الأمر أن جسيمات الضوء تتحرك بسرعة لا نهائية، مما كان سيجعل الثقالة عاجزة عن لجم حركته. لكن رومر Roemer أثبت أن الضوء يسير بسرعة محدودة، وأن الثقالة إذن ربما تؤثر فيه تأثيراً لا يحسن اهماله.

ومن هذا المنطلق نشر ميتشيل J.Michell، وكان استاذاً في كمبردج، عام ١٧٨٣، في مجلة الجمعية الملكية الفلسفية في لندن، خلاصة عمل يدعي فيه أن النجم، الذي يملك كتلة مادية كبيرة ومرتصة بشدة كافية، يتمتع بحقل ثقالي شديد لدرجة أن يمنع الضوء من الإفلات منه: أي أن الشعاع الضوئي الذي يخرج من سطح هذا النجم يمسك به الجذب الثقالي قبل أن يتجاوز العتبة. وكان ميتشيل يقول بإمكانية أن يوجد عدد كبير من

النجوم ؛ لكننا إن كنا لانستطيع رؤيتها ـــ لأن ضوؤها لايصل إلينا ـــ فليس هناك ما يمنع أن نشعر بجذبها الثقالي . ومثل هذه الاجرام هي التي ندعوها بالثقوب السوداء ، لانها سوداء حقاً : كل واحد منها خلاء أسود في الفضاء . ثم أصدر العالم الفرنسي لابلاس نبوءة مماثلة بعد بضع سنوات ، وبصورة مستقلة عن ميتشيل على ما يبدو . والغريب أن لابلاس أورد رأيه هذا في الطبعتين ، الأولى والثانية ، من كتابه *منظومة العالم* ثم أسقطه من الطبعات التالية ، ربما لأنه قرر أن الفكرة سخيفة (يجب أن نذكر أيضاً ، كي نعذر لابلاس ، أن النظرية الجسيمية في الضوء كانت قد بطلت في القرن التاسع عشر ، وبدا أن النظرية الموجية تفسر كل شيء ، ولم يكن يُظن أن الضوء ، كظاهرة موجية ، يمكن أن يتأثر بالحقل الثقالي) .

والواقع أن المنطق ، المستند على محدودية سرعة الضوء فقط ، لا يبيح معالجة الضوء كما نعالج قذائف المدافع في نظرية نيوتن الثقالية . (إن قنبلة المدفع المقذوفة شاقولياً تتباطأ بفعل الثقالة ثم تتوقف لتعود أدراجها نحو الأسفل ؛ أما الفوتون فيستمر في سيره صعوداً بسرعة لا تتباطأ . فكيف يمكن للثقالة أن تؤثر في الضوء؟) وقد بقيت الفيزياء خالية من نظرية في هذا الموضوع إلى أن ظهرت نظرية اينشتاين في النسبية العامة عام ١٩١٥ . ورغم هذا كان لا بد من الانتظار فترة زمنية طويلة قبل أن تتضح مضمونات هذه النظرية بخصوص النجوم عظيمة الكتلة .

ولكي نفهم كيفية تشكل الثقب الأسود يجب أن نعرف أولاً سيرة حياة النجوم في هذا العالم . يتشكل النجم عندما تبدأ كمية كبيرة من الغاز (معظمها من الهدروجين) بالتهافت كلاً على الكل بفعل التجاذب الثقالي . وفي أثناء هذا الارتصاص تتصادم ذرات الغاز فيما بينها بأعداد متزايدة وبسرعات متعاظمة ؛ فيسخن الغاز . وفي النهاية يصبح الهدروجين حاراً والتصادم عنيفاً لدرجة أن تمتنع الذرات عن النزو بعده ، فتندمج نواها معاً لتشكل الهليوم . وعندئذ يصبح النجم متوهجاً شديد النور ، بسبب حرارة التسخين المنبعثة منه ، على شاكلة ما يحدث في القنبلة الهدروجينية . وهذه الحرارة تزيد أيضاً في ضغط الغاز نحو سطح النجم إلى أن يوازن ضغطَ الجذب الثقالي نحو الداخل ؛ وعندئذ تتوقف المادة عن الارتصاص ، على غرار حال الهواء في نفاخة مطاطية حيث يحدث توازن بين ضغط الغاز الذي يحاول التوسع وضغط المطاط الذي يحاول رصَّه . وتحتفظ النجوم بهذا التوازن مستقراً مدة

طويلة بفعل تعارض الحرارة الناجمة عن الاندماجات النووية مع التجاذب الثقالي . وفي النهاية يستهلك الاندماج الهدروجين البدئي وما ينجم عنه من وقود نووي آخر . ومن عجيب الأمور أن النجم كلما كان وقوده البدئي كثيراً كان استهلاكه له أسرع ؛ ذلك أن الكتلة الكبيرة تحتاج إلى سخونة أعظم لموازنة التجاذب الثقالي الأشد . وبازدياد السخونة يزداد تواتر الاندماجات وتزداد معه سرعة استهلاك المخزون من الوقود . ويبدو أن شمسنا العزيزة ما يزال أمامها على الأرجح قرابة خمسة مليارات عام قبل أن تستهلك وقودها ؛ لكن النجوم الأضخم منها يمكن أن تستنفذ مخزونها في بضع مئات الملايين من السنين ، وهذا أقل من عمر العالم اليوم بكثير . وبمجرد أن يستهلك النجم وقوده كله يبدأ مرحلة التبرد ويعود إلى التقلص . أما ما يحدث له بعد ذلك كله فلم يُعرف إلا في نهاية عشرينات هذا القرن .

في عام ١٩٢٨ وفد على انكلترا ، في إحدى البواخر ، طالب هندي اسمه تشندراسيخار S.Chandrasekhar ويحمل شهادة علمية . جاء للدراسة في كمبردج عند الفلكي البريطاني ادنغتون المختص في النسبية العامة . (يقال إن صحافياً أدعّى أمام ادنغتون ، في أوائل العشرينات ، أن ثلاثة أشخاص فقط في العالم فهموا النسبية العامة . فسكت ادنغتون برهة ثم أجابه : «إنني أتساءل من يكون هذا الشخص الثالث؟») وفي أثناء سفره تفكر تشندراسيخار في الضخامة التي يجب أن يبلغها النجم كي يستطيع تحمُّل كتلته الذاتية بعد أن يستهلك كل مخزوناته . كانت الفكرة هي أن النجم عندما يتقلص تتقارب جسيمات مادته معاً لدرجة أن يتاح لها ، بموجب مبدأ الارتياب ، أن تمتلك سرعات متفاوتة جداً ، فيصبح عندئذ من شأنها أن تتباعد بعضاً عن بعض ، فيعود النجم إلى التوسع . فالنجم يستطيع إذن أن يحتفظ ، من تلقاء ذاته ، بنصف قطر ثابت مستغلاً التوازن بين التجاذب الثقالي والتنافر الناجم عن مبدأ الارتياب ، تماماً كما كانت تفعل السخونة في موازنة التثاقل .

لكن تشندراسيخار أدرك أن هناك حدوداً للتنافر الذي يفرضه مبدأ الارتياب . ذلك أن النسبية العامة لا تبيح لسرعات الجسيمات أن تتجاوز سرعة الضوء . وهذا يجعل التنافر الناجم عن مبدأ الارتياب ، في النجم الذي بلغ من الكثافة مبلغاً كافياً ، أضعف من التجاذب الثقالي . وعندئذ وجد تشندراسيخار بالحساب أن النجم الأثقل من الشمس بمرة ونصف يعجز عندما يبرد عن تحمل ثقالته الذاتية : (يعرف هذا الحد اليوم باسم «حد

تشندراسيخار ») . وفي الوقت نفسه تقريباً قال العالم الروسي لانداو **L.D.Landau شيئاً** من هذا القبيل .

كان لهذه الأفكار انعكاسات مهمة على صورة المصير النهائي للنجوم الضخمة . أي أن النجم الذي تقل كتلته عن حد تشندراسيخار يستطيع التوقف عن التقلص ليصبح « قزماً أبيض » مثلاً ، نصف قطره من رتبة بضعة آلاف الكيلومترات وكثافته حوالي مئة طن في السنتيمتر المكعب ؛ ويدين بتوازنه للتنافر الناجم عن مبدأ الارتياب بين إلكترونات مادته . وفي الكون عدد كبير من مثل هذه النجوم . وكان من أوائل ما اكتُشف منها جرم يدور حول النجم سيريوس Sirius ، ألمع النجوم في سماء الليل .

لكن لاندو لفت النظر إلى إمكانية مصير آخر للنجم ، إذا كانت كتلته أيضاً من رتبة كتلة الشمس أو ضعفيها ، وذلك بأن يتحول إلى جرم أصغر بكثير من القزم الأبيض . وهو جرم يدين بتوازنه إلى التنافر الناجم عن مبدأ الارتياب فيما بين نتروناته وبروتوناته بدلاً من الكتروناته ، فيصبح إذن « نجماً نترونياً » . ويكون نصف قطره من رتبة عشرة كيلومترات وكثافته حوالي مئات ملايين الأطنان في السنتيمتر المكعب . لكن الافتقار يومذاك إلى وسائل رصد مناسبة جعل اكتشاف هذه الأجرام يتأخر كثيراً عن التنبؤ بوجودها .

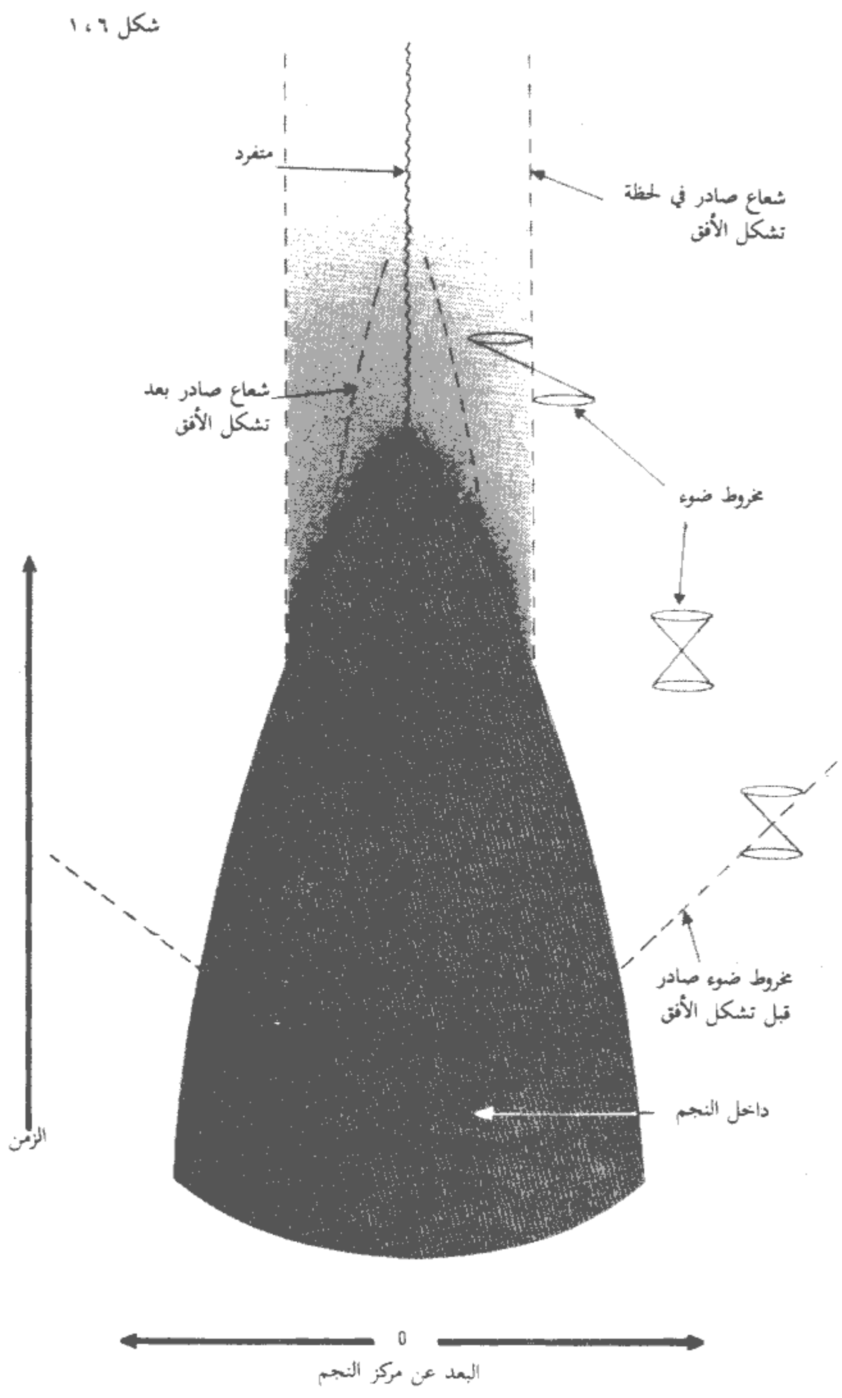
أما النجوم التي تفوق بكتلتها حد تشندراسيخار فتواجه مشاكل عويصة عندما تنتهي من استهلاك مخزوناتها . فقد يحدث لها أن تنفجر أو أن تتدبر أمرها كي تطرد من كتلتها ما يفيض عن حد تشندراسيخار ، فتتحاشى بذلك الارتصاص الثقالي المدمر . لكن من الصعب أن نقبل بشيوع هذه العملية وباستقلالها عن قيمة كتلة النجم . إذ كيف يتسنى للنجم أن يعلم بوجوب التخلي عن بعض كتلته ؟ وحتى لو استطاع النجم أن يتدبر أمره كي يفقد بعض مادته وينجو من الدمار المتفجر ، فماذا يحدث لو التقط القزم الأبيض ، أو النجم النتروني ، من الكتلة ما يكفي لتجاوز الحد ؟ هل يتقلص عندئذ إلى أن يبلغ كثافة لا نهائية ؟ لقد قابل ادنغتون هذه النتيجة بالاشمئزاز ورفض ما توصل إليه تشندراسيخار ؛ كان ، كمعظم علماء عصره ، يعتقد أن ارتصاص النجم إلى درجة أن يصبح نقطة واحدة أمر مستحيل بكل بساطة . حتى أن أينشتاين نفسه كتب مقالة يؤكد فيها أن النجوم لا يمكن أن

تنهرس لدرجة أن تبلغ من الحجم صفراً. وأمام استنكار رجال العلم الآخرين وخصوصاً ادنغتون، استاذه وصاحب السلطة في بنية النجوم، اقتنع تشندراسيخار بوجوب التخلي عن هذا الطريق والانصراف إلى مشاكل فلكية أخرى، كحركة التجمعات النجمية. ومع ذلك نال جائزة نوبل، عام ١٩٨٣، على أعماله السابقة في الكتلة الحدية للنجوم الباردة.

كان تشندراسيخار قد أثبت إذن أن مبدأ الارتياب يمكن أن لا يوقف انهيار النجم الذي تزيد كتلته عن الحد المسمى باسمه. أما فهم ما يحدث لمثل هذه النجوم، بموجب النسبية، فلم يحصل إلا على يدي اوبنهايمر R.Oppenheimer عام ١٩٣٩. لكن أبحاثه بينت أنه لا يوجد أية نتيجة نظرية يمكن التأكد منها بالمرقابات (التلسكوبات) المتاحة عصرئذ. ثم جاءت الحرب العالمية الثانية وانشغل أوبنهايمر في مشروع القنبلة الذرية عن كثب. وبعد الحرب سقطت مسألة التهافت الثقالي في هوة النسيان، لمصلحة الظواهر التي تحدث على صعيد الذرة ونواتها والتي كانت محور اهتمام معظم رجال العلم. وفي الستينات تراكمت الأرصاد الفلكية وطال مداها ــ بفضل تقدم التقانة الحديثة ــ مما نشط الاهتمام بالمسائل الفلكية في مدى الكون الواسع. وعندئذ أعيد اكتشاف أعمال أوبنهايمر وذاع صيتها.

إن الصورة التي نرسمها اليوم بريشة أعمال أوبنهايمر هي التالية: إن الحقل الثقالي للنجم يغيِّر مسارات الأشعة الضوئية في الزمكان بالنسبة لما تكون عليه لو كان النجم غير موجود. أي أن مخاريط الضوء، التي تحدد مسارات الإشارات الضوئية المنطلقة من ذروة المخروط عبر المكان والزمان، تنعطف قليلاً نحو داخل النجم قرب سطحه. وهذا يمكن أن يُرى في انحناء أشعة الضوء القادم من النجوم المرصودة في أثناء كسوف الشمس. وكلما ازداد تقلص النجم اشتد حقله الثقالي قرب سطحه واستفحل انعطاف الضوء نحو داخل النجم. وبذلك يلاقي الضوء صعوبة متزايدة في الخروج من النجم، ويُري الرصد البعيد ضوءاً يخفت بالتدريج ويميل نحو الاحمرار. وفي النهاية، عندما يبلغ نصف قطر النجم في تقلصه قيمة معينة حرجة، يصبح الحقل الثقالي عند سطحه شديداً لدرجة أن يجتذب مخاريط الضوء بتمامها نحو داخله دون أي أمل في الخروج (شكل ٦، ١). ولما لم يكن في الكون شيء أسرع من الضوء (بموجب نظرية النسبية) وكان الضوء نفسه عاجزاً عن الإفلات من هذا السجن، فلا شيء بعده يستطيع التملص من ربقه، لأن الحقل الثقالي يرده على أعقابه. وبذلك نكون أمام سلسلة

شكل ٦ ، ١


متفرد
شعاع صادر في لحظة تشكل الأفق
شعاع صادر بعد تشكل الأفق
مخروط ضوء
مخروط ضوء صادر قبل تشكل الأفق
داخل النجم
الزمن
0
البعد عن مركز النجم

حوادث ضمن منطقة زمكانية لا يمكن الخروج منها للوصول إلى راصد بعيد. تلك هي المنطقة التي نسميها اليوم ثقباً أسود. ويطلق على حدوده اسم «الأفق» وهو ينطبق على مسارات الأشعة الضوئية التي عجزت عن الإفلات.

ولفهم ما يمكن رؤيته إذا كان نصب عينيك نجم يتهافت على نفسه إلى أن يصبح ثقباً أسود، تذكر أن النسبية لا تعترف بزمن مطلق. ولكل راصد مقياس زمني خاص به. فزمن الشخص القاطن على النجم يختلف عن زمن الشخص البعيد عنه، بسبب حقل النجم الثقالي. لنتصور فلكياً شجاعاً موجوداً على سطح نجم في حالة انهيار تهافتي وأنه، وهو ينجر معه، يرسل إشارة ضوئية كل ثانية زمنية مقروءة على ميقاتيته الخاصة نحو مركبة فضائية تدور حول النجم. لنفترض أن النجم، في لحظة معينة ولنقل في الساعة ١١ على ميقاتية الفلكي، يتقلص إلى ما دون نصف القطر الحرج حيث يصبح الحقل الثقالي شديداً لدرجة أن لا شيء يخرج منه: عندئذ لا يمكن للإشارة أن تصل إلى المركبة. لكن قبل الساعة ١١ كان زملاؤه في المركبة يجدون أن الفترات الفاصلة بين الإشارات الضوئية القادمة من زميلهم تصبح أطول فأطول، لكن الفروق تكون صغيرة جداً قبل الساعة ١٠ و٥٩ دقيقة و٥٩ ثانية. وما عليهم سوى أن ينتظروا أكثر من ثانية بقليل بين الإشارة المرسلة من زميلهم في الساعة ١٠ و٥٩ دقيقة و٥٨ ثانية والإشارة المرسلة منه في الساعة ١٠ و٥٩ دقيقة و٥٩ ثانية؛ لكن عليهم أن ينتظروا إلى أبد الدهر الإشارة المرسلة في الساعة ١١. أي أن الأمواج الضوئية المرسلة من سطح النجم، بين الساعة ١٠ و٥٩ دقيقة و٥٩ ثانية والساعة ١١ على ميقاتية الفلكي، قد امتدت على فترة زمنية لا نهائية من زمن الزملاء في المركبة. خلاصة القول إذن أن الفاصل الزمني بين وصولي إشارتين متواليتين من النجم يُرى من المركبة أطول فأطول، ويغدو نور النجم أكثر فأكثر حمرة وأضعف فأضعف. وفي النهاية يصبح النجم مظلماً غير مرئي من المركبة، أي ثقباً أسود في الفضاء. ومع ذلك يستمر في تسليط القوة الثقالية نفسها على المركبة التي تظل دوارة حوله.

بيد أن هذا الوصف ليس واقعياً تماماً للسبب التالي. إن قوة النجم الثقالية تضعف بالتدريج لدى الابتعاد عنه، مما يجعل القوة المتسلطة على قدمي الفلكي الشجاع دوماً أشد من القوة المتسلطة على رأسه. وهذا الفرق يمط جسمه حتى يصبح كخيط معكرونة طويل،

أو يمزقه قبل أن يبلغ النجم في تقلصه نصف القطر الحرج حيث يتشكل الأفق! لكننا نعتقد مع ذلك بوجود أجرام في الكون أكبر بكثير، كتلك التي تقع في المناطق المركزية من المجرات، وهي أيضاً يمكن أن تنهار ثقالياً وتشكل ثقوباً سوداء؛ وفي هذه المناطق لا يتمزق الفلكي إلى قسمين قبل أن يتم تشكل الثقب الأسود، بل إنه لا يحس في الواقع بأي شيء متميز عندما يبلغ نصفَ القطر الحرج ويمكن أن يجتاز نقطة اللاعودة دون أن يلاحظ شيئاً. لكنه في بضع ساعات، وفي أثناء تفاقم ارتصاص المنطقة،يصبح فرق القوتين الثقاليتين بين رأسه وقدميه كبيراً لدرجة أنه لن ينجو من التمزق.

لقد أنجزتُ، بالاشتراك مع بنروز وبين عامي ١٩٦٥ و ١٩٧٠، عملاً تبين منه، بموجب النسبية العامة، أن لا بد من وجود متفرد، ذي كثافة لا نهائية وانحناء زمكاني، في أحشاء الثقب الأسود. وهذا يشبه تقريباً ما كان قائماً في الانفجار الأعظم في بدء الزمن، مع فارق واحد هو أن الزمن يلقى حتفه من أجل الجرم المنهار والفلكي. وفي هذا المتفرد تلقى القوانين الفيزيائية حتفها أيضاً ونصبح عاجزين تماماً عن التنبؤ بالمستقبل. لكن الراصد الذي يظل خارج الثقب الأسود لن يضيره هذا الإفلاس، لأنه لن يصل إليه البتة نور ولا أي شيء سواه من المتفرد. وهذا الأمر المهم قاد بنروز إلى اقتراح فرضية «الرقابة الكونية» التي يمكن أن نعبر عنها بالقول: «إن الله يشمئز من المتفرد العاري». أي، بتعبير آخر، أن المتفردات الناجمة عن الارتصاص الثقالي لا تحدث إلا ضمن أشياء، كالثقوب السوداء، تحجبها احتشاماً، وبفضل أفقها، عن عيون الناظرين. وبكلام أدق نقول: إن هذا كل ما نعرفه عما تنطوي عليه فرضية الرقابة الكونية الضعيفة: إنها تحمي الراصد الذي يبقى خارج الثقب الأسود من نتائج إفلاس القدرة على التنبؤ بخصوص المتفرد. لكن ذلك لا يغير شيئاً بالنسبة للراصد المسكين الذي يهوي في الثقب الأسود.

لكن بعض حلول معادلات النسبية العامة تتيح لفلكيِّنا إمكانية رؤية المتفرد العاري: فهو إذن يستطيع أن يتجنبه وأن يسقط، بدلاً من ذلك، في «نفق دودي» وأن يخرج في منطقة أخرى من العالم. وهذا ما يتيح عدة إمكانيات للسفر في المكان وفي الزمان؛ لكن هذه الحلول كلها ضعيفة الاستقرار جداً مع الأسف: أي أن من شأن أقل اضطراب يطرأ عليها، كوجود الفلكي، أن يعدِّل فيها بحيث يصبح الفلكي عاجزاً عن رؤية المتفرد قبل أن يرتطم به

ويلقى حتفه. وبتعبير آخر نقول إن المتفرد يقع دوماً في مستقبل زمان الفلكي لا في ماضيه بتاتاً. أما الجانب القوي لفرضية الرقابة الكونية فيقول ما يلي: إن المتفردات، المتعلقة بحل واقعي للمعادلات، تستقر إما دوماً في المستقبل (كمتفردات الانهيار الثقالي) وإما دوماً في الماضي (كالانفجار الأعظم). ومن الممتع أن نأمل من أحد جوانب فرضية الرقابة الكونية أن يعمل حقاً لأنه يتيح لنا عندئذ، على الرغم من المتفردات العارية، أن نسافر عبر الماضي. ورغم أن هذه الفكرة ستروق لكتاب الخيال العلمي إلا أن مغزاها أنهم لن يجدوا أحداً ينجو بحياته: إذ ما بالك بإنسان يستطيع أن يصعد سلم الزمن نحو الماضي فيقتل أباك وأمك قبل أن تكون أنت مضغة في رحمها!؟.

إن الأفق، أي حدود المنطقة الزمكانية التي يستحيل الإفلات منها نحو الخارج، يتصرف بالأحرى كغشاء لا يمكن اجتيازه إلا باتجاه واحد ويحيط بالثقب الأسود: فالأشياء، كالفلكي المغامر، يمكن أن تسقط في الثقب الأسود ولا شيء يستطيع الخروج منه أبداً نافذاً من الأفق. (لنتذكر أن الأفق هو المسار الزمكاني للضوء الذي يحاول الإفلات من الثقب الأسود، وأن لا شيء يستطيع الحركة بأسرع من الضوء) وبصراحة نستطيع أن نقول فيه ما يقول الشاعر دانتي في الجحيم: «أنتم يا من تدخلون هنا، افقدوا كل أمل». فكل شيء وكل إنسان يسقط عبر الأفق لا بد أن يصل بعد قليل إلى منطقة الكثافة اللانهائية ونهاية الزمان.

إن النسبية العامة تتنبأ بأن الأشياء الثقيلة المتحركة يجب أن تولِّد أمواجاً ثقالية، أي تجعدات في انحناء الزمكان تنتشر بسرعة الضوء؛ وهذه الأمواج تشبه أمواج الضوء التي هي تجعدات الحقل الكهرطيسي، لكن كشفها أصعب جداً. إنها، كالضوء، تنقل طاقة قادمة من الأشياء التي أصدرتها. علينا إذن أن نتوقع، من جمل الأجسام الثقيلة، أن تبلغ في النهاية حالة مستقرة لأن كل حركة فيها ستكون مصحوبة بصدور طاقة محمولة على أمواج ثقالية. فهذا يشبه ما يحدث لقطعة فلين عندما نرمي بها في الماء: إنها تتراقص في البدء ثم تبلغ، بعد استنزاف طاقتها شيئاً فشيئاً، حالة تستقر فيها. وحركة الأرض حول الشمس تصدر أيضاً أمواجاً ثقالية. ومن شأن الخسارة الطاقية أن تعدل مدار كوكبنا بما يجعله يقترب من الشمس أكثر إلى أن يرتطم بها ويبلغ حالة استقراره. إن معدل خسران الطاقة، في حال الأرض

والشمس، ضئيل جداً ــ ما يكفي فقط لتشغيل سخان كهربائي صغير . ومغزى ذلك أن الأرض ستستمر في الدوران حول الشمس مليارات مليارات مليارات السنين ، ولا مجال للقلق الآن ! . فتغير المدار أبطأ من أن نشعر به ؛ لكن هذا المفعول كان ، في السنوات الأخيرة ، محسوساً في الجملة السماوية المعروفة بالرمز PSR 1913-16 (إن الرمز PSR يمثل نباضاً Pulsar وهو ضرب من النجوم النترونية يرسل موجات راديوية على شكل نفثات منتظمة) ؛ إنها جملة مثنّاة تتألف من نجمين نترونيين يدور كل منهما حول الآخر ، ومن شأن الطاقة التي يفقدانها على شكل أمواج ثقالية أن تجعل مداريهما حلزونيين متقاربين .

لكن حركات مواد النجم الآخر الآخذ بالتهافت الانهياري الثقالي أسرع من ذلك بكثير ، الأمر الذي يجعل الطاقة الخارجة منه أكبر بكثير . وبذلك يكون بلوغ الحالة المستقرة سريعاً . فما شأن هذه الحالة النهائية ؟ يمكن أن نفترض أنها تتعلق بكل خصائص النجم المعقدة التي انطلق تشكله منها ، أي لا بكتلته وسرعة دورانه فقط بل وبكثافات شتى مناطقه أيضاً وبكل الحركات المعقدة للغازات في أحشائه . وإذا كانت الثقوب السوداء على درجة من التنوع تضاهي تنوع الأجرام المنهارة التي أنشأتها فإن التنبؤ بما يحدث عموماً سيكون أيضاً أصعب بكثير .

ومع ذلك طرأت على دراسة الثقوب السوداء، عام ١٩٦٧ ، ثورة ندين بها للفلكي الكندي فيرنر اسرائيل (الذي ولد في برلين وتربى في إفريقية الجنوبية وقدم أُطروحته في إرلندا) الذي برهن على أن الثقوب السوداء التي لا تدور أجرام بسيطة جداً : كروية تماماً وذات حجم لا يتعلق إلا بكتلتها ؛ فالثقبان المتساويان بالكتلة متماثلان تماماً . وأوصاف الثقب الذي من هذا النوع موجودة في حل خاص لمعادلات أينشتاين وجده شفارتز شلد K.Schwarzschild عام ١٩١٧ ، أي بعد سنتين من اكتشاف النسبية العامة . وكان في البدء كثير من العلماء ، ومنهم اسرائيل نفسه ، يرون أن الثقوب السوداء ، بسبب كرويتها المثالية ، لا يمكن أن تتشكل إلا انطلاقاً من الأجرام الكروية تماماً . أي أن النجم الحقيقي ــ وهو لا يمكن أن يكون إلا كروياً مثالياً ــ لا يستطيع إذن سوى أن ينهار لينتهي في متفرد عار .

وكتفسير آخر لنتيجة اسرائيل اقتراح آخر قدمه بنروز وويلر خصوصاً : إن الحركات

السريعة الناشئة عن انهيار النجم تعني أن الأمواج الثقالية المتولدة عنها يمكن أن تحسِّن كثيراً من كرويته إلى أن يتوطد في حالة استقرارية ذات كروية مثالية. وفي رأيهما أن كل نجم غيرِ ذي حركة دورانية، مهما كان شكله وبنيته الداخلية معقدين، يستطيع أن يؤول في نهاية انهياره إلى ثقب أسود كروي تماماً وذي حجم لا يتعلق إلا بكتلة النجم الأب. وقد أيدت الحسابات اللاحقة وجهة النظر هذه فأصبحت اليوم مقبولة عند الجميع.

إن نتيجة اسرائيل لا تنطبق إلا على الثقوب السوداء التي أصلها أجرام لا تدور على نفسها. لكن النيوزلندي كير R.Kerr وجد عام ١٩٦٣ مجموعة حلول لمعادلات النسبية العامة تنطوي على أوصاف الثقوب السوداء الدوارة. و«ثقوب كير السوداء» هذه تدور بسرعة ثابتة، ولا يتعلق حجمها ولا شكلها إلا بكتلتها وسرعة دورانها. ولو كان دورانها معدوماً لكان الثقب الأسود كروياً تماماً ولكان الحل مطابقاً للحل الذي وجده شفارتزشلد؛ أما لو كان الدوران غير معدوم فإن الثقب الأسود ينتفخ عند خطه الاستوائي (كما هو شأن الأرض والشمس) انتفاخاً يزداد بازدياد سرعة الدوران. وهكذا، ولتعميم هذه الأفكار على الأجرام الدوارة، توطدت فكرة أن كل نجم دوار آخذٍ بالانهيار على نفسه، ليشكل ثقباً أسود، ينتهي أمره إلى الحالة الاستقرارية الموصوفة في حل كير.

وفي عام ١٩٧٠ خطا زميلي كارتر B.Carter، الذي قدم أطروحته في عام تقديمي أطروحتي، أولى الخطوات على طريق إثبات هذه الفرضية. فقد برهن على أن حجم الثقب الأسود المستقر لا يتعلق حقاً إلا بكتلته وسرعة دورانه شرط أن يكون له محور تناظر، أي على شاكلة الدوامة. وفي عام ١٩٧١ وجدتُ البرهان على أن كل ثقب أسود دوار لا بد أن يكون ذا محور تناظر. ثم اتخذ روبنسون D.Robinson، من الكلية الملكية في لندن وعام ١٩٧١، هاتين النتيجتين منطلقاً للبرهان على أن الفكرة الأصلية كانت صحيحة: أي أن مثل هذا الثقب الأسود هو فعلاً حل كير. وهكذا، وفي نهاية الانهيار الثقالي، لابد أن يبلغ الثقب الأسود حالة استقرارية يكون فيها دواراً ولكن غير نابض. كما أن حجمه وشكله لا يتعلقان إلا بكتلته وسرعة دورانه، لا بطبيعة الجرم الذي انهار فشكّله. وكان أن أوجزتُ هذه النتيجة بالعبارة التصويرية: «إن الثقب الأسود أصلع». ونظرية «الصلع» هذه ذات أهمية عملية كبيرة لأنها تحد من عدد أنواع الثقوب السوداء، لحسن الحظ. وعلى هذا نستطيع إذن أن

نصنع نماذج مفصلة للأجرام التي تحوي ثقوباً سوداء، وأن نقارن التنبؤات الصادرة عن هذه النماذج بالنتائج الرصدية. وهذا يعني أيضاً أن عدداً كبيراً من المناظر التي نراها على جرم منهار سوف نفقدها عندما يصبح الجرم ثقباً أسود، لأن كل ما نستطيع بعدئذ قياسه لن يتعدى كتلته وسرعة دورانه. وسنوضح مغزى ذلك كله في الفصل القادم.

إن الثقوب السوداء، في تاريخ العلم، هي واحدة من المناسبات النادرة التي جرى فيها تطوير تفصيلي لنظرية اتخذت شكل نموذج رياضي قبل أن تقدم المشاهدات برهاناً على صحتها. والحجة الرئيسة لمناهضي الثقوب السوداء تقول: كيف يمكن أن نقبل بأجرام لا يبرهن على وجودها سوى حسابات تعتمد على نظرية مهمة كنظرية النسبية العامة؟ لكن شميت M.Schmidt، وهو فلكي يعمل في مرصد جبل بالومار في كاليفورنيا، كان قد قاس عام ١٩٦٣ الانزياح نحو الأحمر لطيف جرم خافت يشبه نجماً يقع في اتجاه المنبع الراديوي الذي رمزه 3C273 (أي المنبع رقم 273 في الكراس الثالث من تصنيف كمبردج للمنابع الراديوية). وقد وجد أن هذا الانزياح أكبر من أن يُعزى إلى حقل ثقالي، إذ لو صح ذلك لكان الجرم ثقيلاً وقريباً منا لدرجة أن يسبب اضطراباً في مدارات كواكب المنظومة الشمسية. ولئن كان من المفروض أن يُعزى هذا الانزياح الطيفي بالأحرى إلى توسع الكون، وإلى ما يتبع ذلك من أن هذا الجرم لا بد أن يكون هائل البعد عنا، إلا أن كونه مرئياً على هذه المسافة النائية يجعلنا نشك في حقيقة عظم سطوعه لهذه الدرجة، أو بعبارة أخرى، أن تصدر منه هذه الطاقة الهائلة. وعلى هذا فإن الآلية الوحيدة التي يمكن أن نفكر فيها، والقادرة على انتاج مثل هذه الكميات الكبيرة من الطاقة، هي الانهيار الثقالي، لا لنجم واحد بل لمنطقة مركزية برمتها في إحدى المجرات. وقد تمَّ مؤخراً اكتشاف عدد من أمثال هذه «الأجرام شبه النجمية» أو الكوازارات[1] quasars، كلها ذات انزياح كبير نحو الأحمر. لكنها كلها أنأى، وبالتالي أصعب رصداً، من أن نتخذها شاهداً حاسماً على وجود الثقوب السوداء.

لقد جاء، عام ١٩٦٧، شاهد آخر على وجود الثقوب السوداء حين اكتشفت الباحثة جوسلين بيل J.Bell، من كمبردج، أجراماً سماوية تبعث نفثات منتظمة من أمواج

---

(١) إن هذه الكلمة تعني «شبه نجم» ولفظها الأجنبي مشتق، بالقصر والجمع، من كلمة quasi (شبه) وكلمة Star (نجم). وقد آثرنا أن نتبنى اللفظة الأجنبية لإيجازها وشيوعها العالمي معاً. «المترجم».

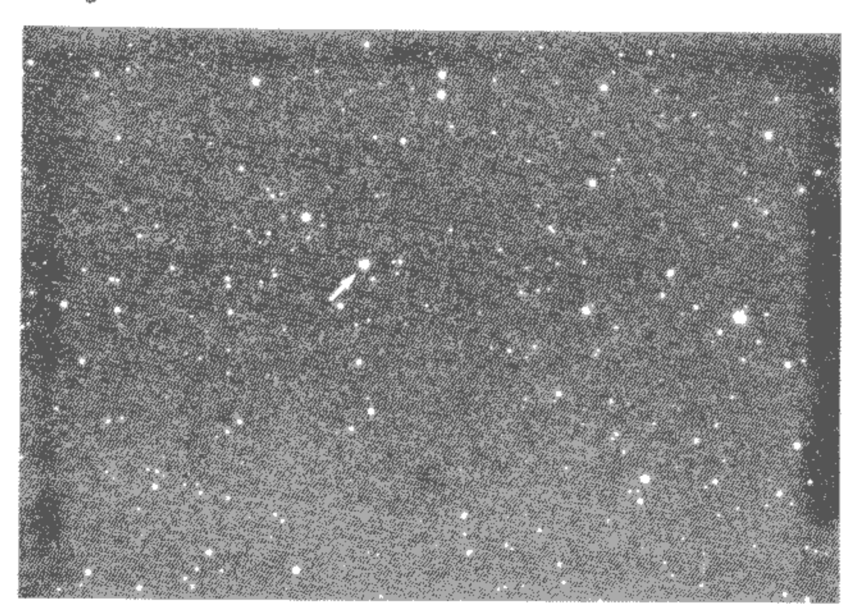
راديوية. وقد ظنت بيل وأستاذها هيويش A.Hewish، في بادئ الأمر، أنهم أصبحوا على اتصال بحضارة أخرى في مجرتنا! وإنني ما أزال أذكر أنهما، في الندوة التي أعلنا فيها اكتشافهما، أطلقا على المنابع الأربعة الأولى التي اكتشفاها الرمز LGM 1-4؛ والحروف LGM هي الأوالي من كلمات «الرجال الصغار الخضر Little Green Men» (تلميحاً إلى اسم المريخيين في روايات الخيال العلمي التي ظهرت في أوائل هذا القرن). لكن الجميع عادوا إلى تفسير أقل رومنسية: إن هذه الأجرام وقد سميت «نباضات»، ليست في الواقع سوى نجوم نترونية دوامة ترسل نفثات راديوية بسبب تفاعل متبادل معقد بين حقلها المغنطيسي والمادة المحيطية. ولئن كان هذا التفسير خيبة مريرة لكتّاب القصص الفضائية، إلا أنها كان فيها أمل كبير للعدد الضئيل منا، الذين كانوا يعتقدون بالثقوب السوداء آنئذ: كان ذلك أول شاهد حقيقي على وجود النجوم النترونية. فللنجم النتروني نصف قطر من رتبة عشرة كيلو مترات، وهي قيمة أصغر عدة مرات من نصف القطر الحرج الذي يصبح النجم عنده ثقباً أسود. وإذا كان متاحاً للنجم أن ينهار متقلصاً إلى حجم صغير لهذه الدرجة، فليس من السخف أن نتوقع إمكانية انهيار نجوم أخرى إلى حجوم أصغر أيضاً، لتصبح بذلك ثقوباً سوداء.

كيف نأمل في اكتشاف ثقب أسود إذا كان هو نفسه وبالتعريف لا يصدر أي ضوء؟ أو كيف ترى قطاً أسود في قبو مليء بالفحم؟ ما يزال لدينا، والحمد لله، وسيلة. فالثقب الأسود، كما يقول ميتشيل في عمله الرائد، يستمر في تسليط قوة ثقالية على الأجرام القريبة منه. ولقد شاهد الفلكيون عدة جمل سماوية مثناة يدور فيها، كل منهما حول الآخر، نجمان يتجاذبان بفعل قوة الثقالة. لكنهم اكتشفوا أيضاً جملاً لم يروا فيها سوى نجم واحد يدور حول رفيق غير مرئي. ومن السهل عندئذ أن نفكر بأن ذلك الرفيق ثقب أسود. لكنه قد يكون أيضاً أخفت من أن يُرى. بيد أن بعض هذه الجمل، كتلك المدعوة بالبجعة X—1 Cygnus (شكل ٦، ٢)، هي منابع أشعة سينية غزيرة. وخير تفسير لهذه الظاهرة هو أن المادة تنسلخ كالدخان عن سطح النجم المرئي، وأنها لدى تهاويها على رفيقه اللامرئي راحت تلف حوله كالحلزون (ما يشبه نوعاً ما دوامة ماء مغطس الحمام وهو يغوص في البالوعة) فأصبحت حارة جداً ومصدر أشعة سينية (شكل ٦، ٣). ولكي تعمل هذه الآلية بشكل معقول يجب أن يكون الجرم اللامرئي صغيراً جداً، من حجم قزم أبيض أو نجم نتروني أو ثقب

أسود . وانطلاقاً من نتائج رصد مدار الرفيق المرئي يمكن حساب أصغر قيمة مناسبة لكتلة الجرم اللامرئي . ومن أجل البجعة X—1 وُجد أن كتلته تساوي تقريباً ستة أضعاف كتلة الشمس ، وهذه القيمة أكبر من أن تُعزى إلى قزم أبيض ، بموجب حد تشندراسيخار . كما أنها أكبر من كتلة نجم نتروني . وعلى هذا يبدو أن الرفيق اللامرئي يمكن أن يكون ثقباً أسود .

هناك أيضاً نماذج أخرى ، غير الثقب الأسود ، لتفسير ظاهرة البجعة X—1 ، لكنها كلها مصطنعة بعناء كبير . فالثقب الأسود يبدو حقاً التفسير الوحيد الطبيعي لنتائج الأرصاد . ومع ذلك دخلتُ في رهان مع كيب ثورن Thorn ، من مؤسسة كاليفورنيا للتكنولوجيا ، زاعماً بأن البجعة X—1 لا تحوي في الواقع ثقباً أسود ! إنها « بوليصة تأمين » عندي . فأنا قد اشتغلت كثيراً في الثقوب السوداء وسيذهب عملي أدراج الرياح إذا ثبت أن الثقوب السوداء غير موجودة . وسيكون عزائي عندئذ ربح الرهان ، وهو اشتراك لمدة أربع سنوات في مجلة Private Eye . فإذا كانت الثقوب السوداء موجودة فإن ثورن سيكون له الحق بسنة إقامة في Penthouse . وعندما أجرينا هذا الرهان كنا متأكدين لدرجة ٨٠٪ من أن

شكل ٦ ، ٢



ألمع النجمين في مركز الصورة هو البجعة X1 التي يُظن أنها تتألف من ثقب أسود ومن نجم عادي يدور كل منهما حول الآخر .

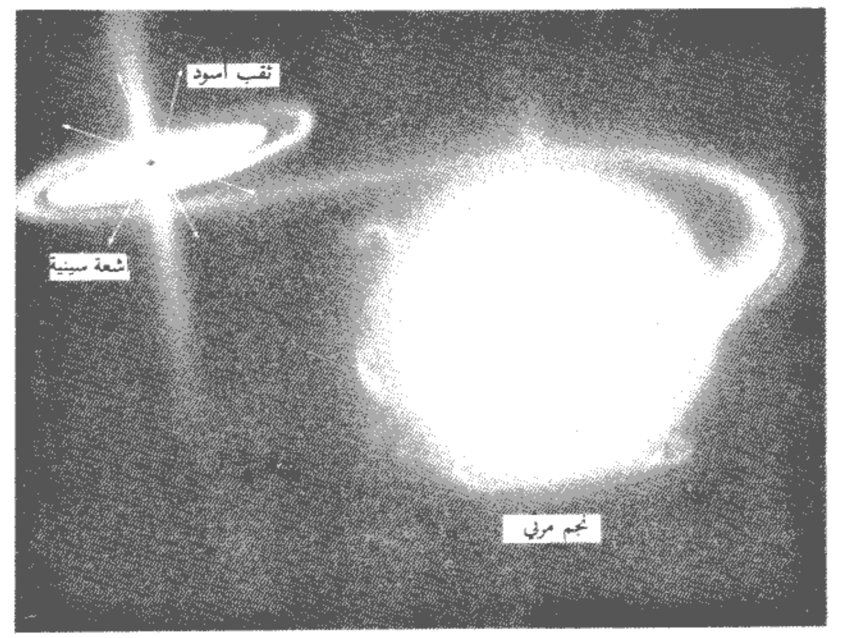


البجعة X—1 ثقب أسود . أما اليوم فقد ارتفع هذا الاحتمال إلى ٩٥٪ ، لكن الرهان لم يحسم بعد .

إن لدينا حججاً عديدة لصالح وجود عدة ثقوب سوداء في جمل سماوية من قبيل البجعة X—1 في مجرتنا وما جاورها ، كغيمة ماجيلان . لكن عدد الثقوب السوداء أكبر بكثير على الأرجح ؛ فعلى مر الزمن في تاريخ العالم الطويل حرقت نجوم كثيرة كل مخزوناتها النووية وانهارت . وقد يكون حقاً عدد الثقوب السوداء أكبر من عدد النجوم المرئية التي تَعدّ قرابة مئة مليار نجم في مجرتنا . وقد يفسر الجذب الثقالي الإضافي ، الناجم عن عدد كبير من الثقوب السوداء ، سبب دوران مجرتنا على نفسها بالسرعة التي هي فيها ؛ ذلك أن كتل النجوم المرئية أعجز من أن تكون مسؤولة عنها . ولدينا أيضاً ما يشير إلى وجود ثقب أسود ، في مركزها ، ذي كتلة أعظم بكثير ، قرابة مئة ألف ضعف من كتلة الشمس . والنجوم التي تقترب منه أكثر من اللازم تتمزق بفعل الفرق بين شدة القوى الثقالية المتسلطة على الشطر الأقرب الذي يواجه الثقب وبين تلك المتسلطة على الشطر الأبعد . وبذلك تهوي أشلاء النجم المتمزق وغازات النجوم الأخرى نحو هذا الثقب المركزي . وكما في حال البجعة X—1 تتحلزن مساراتها نحو الداخل وتسخن ، ولكن ليس بالمقدار نفسه ؛ فهو لا يبلغ أبداً سخونة تسفر عن إشعاع سيني ، وقد يكون ذلك سبب المنبع المرتص جداً الذي يبعث أمواجاً راديوية وإشعاعاً تحت الأحمر والذي شوهد في مركز المجرة .

ويُعتقد أيضاً أن في مركز الكوازارات ثقوباً سوداء من هذا القبيل ولكنها ذات كتل تساوي مئة مليون ضعف من كتلة الشمس . والمادة التي تسقط في مثل هذا الثقب العملاق قد تكون المنبع الوحيد عظيم القدرة الذي يفسر مثل ذلك الإشعاع الطاقي الغزير الذي يصدر عن الكوازارات . ولما كانت المادة المتهاوية نحو الثقب تسلك مسارات حلزونية فلا عجب إذن أن تدفع الثقب إلى التدويم في اتجاهها ، مما يتيح له توليد حقل مغنطيسي ، على غرار نشوء حقل الأرض المغنطيسي تقريباً . ويتاح للجسيمات عالية الطاقة جداً أن تصدر قرب الثقب الأسود من المادة المتهاوية . وعندئذ يستطيع الحقل المغنطيسي بشدته أن يَلمَّ هذه الجسيمات على شكل حزم تتدفق على طول محور دوران الثقب الأسود ، أي باتجاه قطبيه : الشمالي والجنوبي . وقد شوهدت هذه الدفوق فعلاً في عدد من المجرات والكوازارات .

يمكن أيضاً أن لا نستبعد إمكانية وجود ثقوب سوداء ذات كتلة أصغر بكثير من كتلة الشمس. فهي لا يمكن إذن أن تنشأ عن انهيار ثقالي لأن كتلها أصغر من حد تشاندراسيخار. إن النجوم الأصغر كتلةً تستطيع مقاومة قوى الثقالة، حتى ولو استنفذت مخزوناتها من الوقود النووي. فمثل هذه الثقوب لا يمكن أن تتشكل إلا بفعل قوى خارجية شديدة تضغط المادة إلى كثافة هائلة. وهذه ظروف لا بد أن تتوفر في قنبلة هدروجينية ضخمة جداً. وقد أجرى ويلر ذات مرة حساباً تبين منه أننا لو ضغطنا الماء الثقيل الذي تنطوي عليه محيطات الأرض كلها لاستطعنا صنع قنبلة هدروجينية قادرة على ضغط المادة في مركزها بما يتيح تشكل ثقب أسود. (لن يبقى بالتأكيد إنسان على قيد الحياة ليراه!) وربما كان قد اتفق عملياً أن تشكلت في بدايات العالم الأولى ثقوب سوداء ذات كتل على هذه الدرجة من الصغر. ولا يمكن أن تتشكل الثقوب السوداء عندئذ إلا إذا كان العالم في بدايته غير متجانس تماماً وغير أملس؛ إذ لا يتاح إلا لمنطقة صغيرة ذات كثافة أكبر من الوسطي أن تنضغط بحيث تشكل ثقباً أسود. ونحن نعلم أن العالم كان حتماً ذا اختلالات في بدايته،



شكل ٦،٣



إذ لولا ذلك لكانت المادة موزعة اليوم فيه توزعاً منتظماً تماماً بدلاً من أن تكون مجمعة على شكل نجوم ومجرات.

واضح أن معرفة ما إذا كانت الشذوذات، المطلوبة لتفسير النجوم والمجرات، قد اسفرت عن تشكل عدد كبير من الثقوب السوداء «البدئية» تستلزم معرفة تفاصيل الظروف التي كانت تسود العالم في بدايته. ولو استطعنا أن نعين عدد الثقوب السوداء البدئية الموجودة حتى اليوم لاستنتجنا معلومات كثيرة عن أحوال العالم في بداياته. فالثقوب البدئية التي تفوق كتلها آلاف ملايين الأطنان (كتلة جبل ضخم) لا يمكن أن تُكتشف إلا بفضل تأثيرها الثقالي على سواها، على المادة المرئية أو على توسع الكون. لكن الثقوب السوداء ليست في الواقع، كما سنرى في الفصل القادم، سوداء سوداء: إنها محمرة قليلاً كحمرة الجسم الساخن. وكلما كانت صغيرة كان احمرارها أشد. إنها إذن لمفارقة عجيبة أن تكون صُغريات الثقوب السوداء أسهل اكتشافاً اليوم من كُبرياتها!.

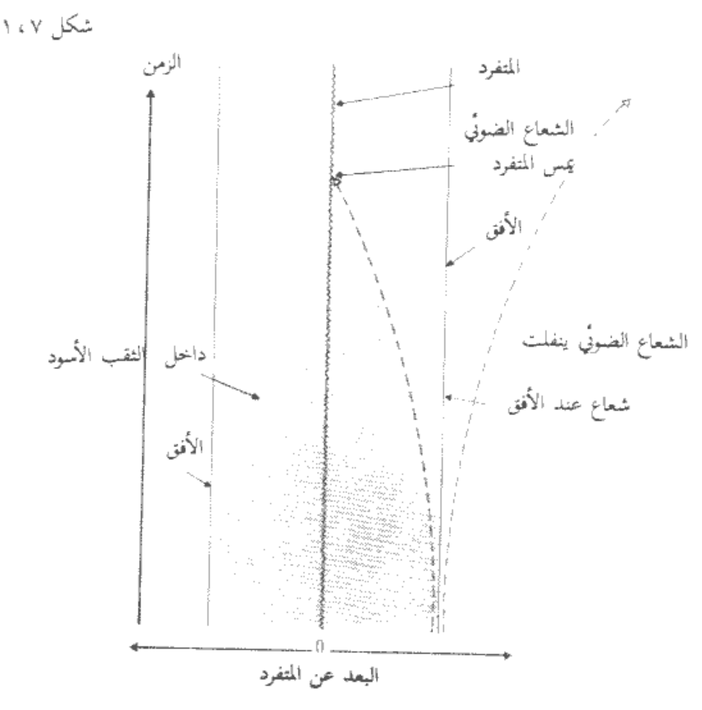

محمد خطاب



ثقوب غير سوداء تماماً

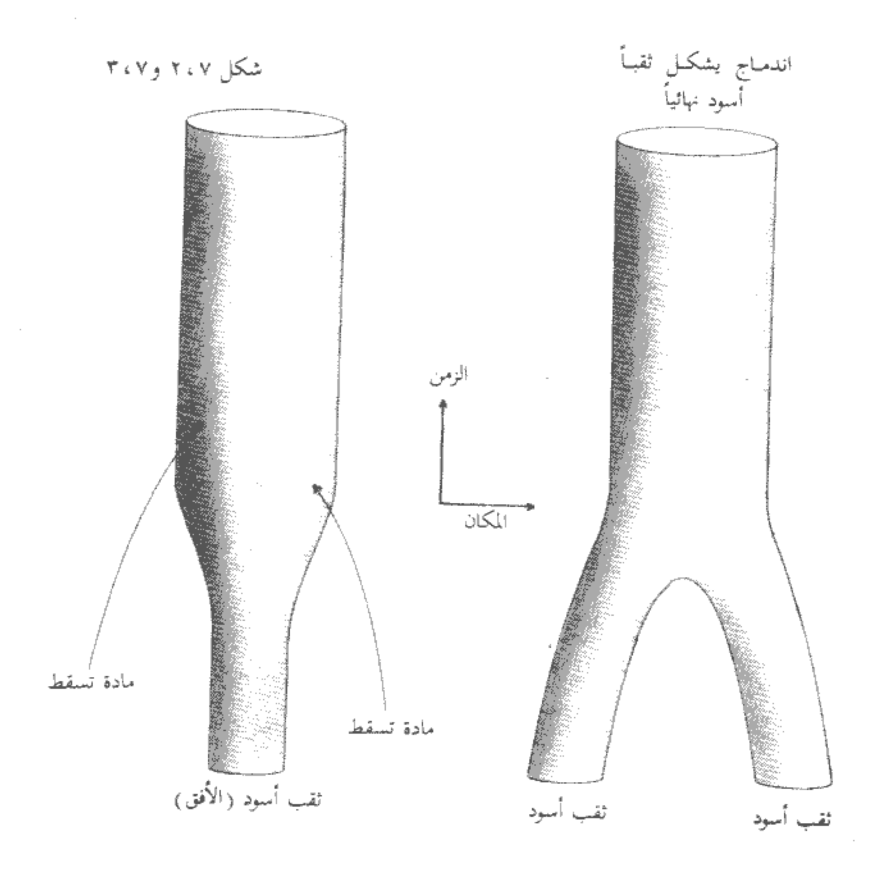
كانت أبحاثي في النسبية العامة تنصب أساسياً ، قبل عام ١٩٧٠ ، على مسألة ما إذا كان العالم قد انبثق حقاً من متفرد من نوع الانفجار الأعظم . لكنني أخذت أفكر ذات ليلة من تشرين الثاني في ذلك العام ، وبعد قليل من ولادة ابنتي لوسي ، في الثقوب السوداء وأنا في طريقي إلى النوم . ولما كانت صعوبة حركتي تجعل هذه العملية بطيئة جداً ، توفر عندي وقت للتفكير . لم يكن يوجد آنئذ تعريف دقيق للنقاط بالنسبة للثقب الأسود : أيها داخله وأيها خارجه؟ وكنت قبل ذلك قد تحدثت مع بنروز عن فكرة تعريف الثقب الأسود بأنه مجموعة الحوادث التي لا يتاح لها البتة أن تنفذ إلى مسافة بعيدة ، وهو اليوم التعريف المقبول عموماً . وهذا يعني أن حدود الثقب الأسود ــ أفقه ــ تتشكل من المسارات الزمكانية للأشعة الضوئية التي تحاول دون جدوى أن تنفذ منها ، فتراوح طول عمرها عند الحافة (شكل ٧ ، ١) . فهي كأنها تحاول الخلاص من الشرطة فتقرر أن تخطو إلى الأمام دون أن تملك القدرة على الإفلات حقاً ! .

وفجأة فهمت أن مسارات هذه الأشعة الضوئية يجب أن لا تتقارب أبداً بعضاً من بعض ، وإلا كان مصيرها التمازج ؛ فكأنك تصادف شخصاً آخر يهرب من الشرطة في الاتجاه المعاكس (سوف يُلقى القبض عليه ، مثلك تماماً ! أو قل ، في حالنا هذه ،أنه يسقط مثلك في الثقب الأسود) . وإذا كانت هذه الأشعة في أحشاء الثقب الأسود فلا يمكن أن



تكون عند حدوده . فلا بد إذن لمساراتها عند الأفق من أن تكون دوماً متوازية فيما بينها ، أو أن تتباعد بعضاً عن بعض . وكطريقة أخرى لفهم ذلك نُشبِّه الأفق ، أي حدود الثقب الأسود ، بحافة الظل ، ذلك أنك لو نظرت إلى الظل الذي يطرحه منبع بعيد كالشمس فسترى أن الأشعة الضوئية عند حافة الجسم الذي يحجب الضوء (حافة الظل) لا تقترب بعضاً من بعض .

إذا كانت الأشعة الضوئية التي تشكل الأفق ، حدود الثقب الأسود ، لا تستطيع أبداً أن تتقارب بعضاً من بعض فإن سطح هذا الأفق سيظل على حاله أو سيزداد مع الزمن ؛ لكنه لا يمكن أبداً أن يتناقص ، لأن تناقصه يؤدي إلى تقارب هذه الأشعة فيما بينها . والواقع أن هذا السطح يتزايد ، سواء بسبب ما يسقط عليه من مادة أو من إشعاع (شكل ٧ ، ٢) . ولو تصادم ثقبان أسودان ليندمجا في ثقب واحد فإن سطح أفق الثقب الحاصل سيكون أكبر من مجموع السطحين الأصليين أو يساويه (شكل ٧ ، ٣) . وهذه الخاصة ، أي عدم إمكانية تناقص سطح الأفق ، تحد كثيراً من حرية تصرف الثقب الأسود . وقد ابتهجتُ جداً من هذا



الاكتشاف لدرجة أنني لم أذق طعم النوم تلك الليلة . وفي اليوم التالي دعوت بنروز . وكان أن وافقني على ذلك . وأعتقد أنه كان في الواقع على علم بخاصة السطح هذه . ومع أن تعريفه للثقب الأسود كان مختلفاً نوعاً ما ، إلا أنه لم يدرك أن حدود الثقب الأسود لا تختلف باختلاف التعريف الذي نختاره له ، وأن سطوحها تظل كما هي ، شرط أن يكون الثقب الأسود قد بلغ حالة اتزانه ، فلا تتطور إذن بمرور الزمن .

إن هذا التصرف ، أي عدم تناقص سطح الثقب الأسود ، يُذكِّر تماماً بتصرف مقدار فيزيائي اسمه الأنتروبيَّة entropy يقيس درجة الفوضى في جملة ما . ونحن نشهد كل يوم ظواهر تنزع فيها الأشياء إلى التطور نحو الفوضى إذا تركناها لشأنها (ما عليك ، لتشهد ذلك ، سوى أن تتوقف عن إجراء الإصلاحات في بيتك !) . ولئن كنا قادرين على تحويل الفوضى إلى ترتيب

(كأن ندهن جدران البيت) إلا أن ذلك يستدعي صرف جهد وطاقة، وهذا يؤدي إلى تناقص كمية الطاقة المرتبة الجاهزة.

وفي علم الترموديناميك (التحريك الحراري) تعبير دقيق عن هذا الواقع اسمه المبدأ الثاني: إن انتروبيَّة الجملة المعزولة لا يمكن أن تتناقص أبداً؛ وعندما نضم جملتين معاً فإن انتروبيَّة المجموع تصبح أكبر من مجموع انتروبيتي الجملتين المفردتين. لنتأمل مثلاً في جملة جزيئات غازية موضوعة في علبة. يمكن أن نعتبر جزيئات الغاز وكأنها حبيبات صلبة صغيرة جداً تتراطم على الدوام كيفما اتفق وتصدم جدران العلبة. وكلما ارتفعت سخونة الغاز ازدادت سرعة حركات جزيئاته وازداد معها عنف الاصطدامات بالجدران وتواترها، مما يزيد في الضغط الذي يسلطه الغاز على جدران العلبة. لنتصور أن الجزيئات كانت في البدء مجتمعة كلها في النصف الأيسر من العلبة بفضل حاجز يحصرها فيه. ولدى إخراج الحاجز تنزع الجزيئات إلى الانتشار حتى تحتل حجم العلبة كله. وقد يتفق لها، ولو نادراً وبعد زمن طال أو قصر، أن تتجمع كلها في النصف الأيمن أو أن تعود إلى النصف الأيسر؛ لكن أرجح الحالات احتمالاً تقضي بأن تظل موزعة بما يشبه التساوي العادل بين النصفين؛ وهذه حالة أقل ترتيباً، أو قل أكثر فوضوية، من الحالة البدئية عندما كانت كل الجزيئات مجتمعة في أحد النصفين. وعلى هذا نستطيع أن نقول إن انتروبيَّة الغاز (درجة فوضاه) قد ازدادت بعد إخراج الحاجز. لنتصور أيضاً، على غرار ذلك، أننا بدأنا بعلبتين مفصولتين خارجياً بجدار مشترك، إحداهما تحوي جزيئات اكسجين والأخرى جزيئات آزوت (نتروجين). فإذا وحَّدنا العلبتين بنزع الجدار المشترك فإن الغازين يبدآن بالاختلاط، وبعد برهة تصبح الحالة الأرجح احتمالاً غازاً شبه سوي الاختلاط من الاكسجين والآزوت اللذين كانا في العلبتين، وحالة الاختلاط هذه أقل ترتيباً، وبالتالي أكثر انتروبيَّة، من حالة الانفصال البدئية.

إن للمبدأ الثاني في الترموديناميك مكانة تختلف قليلاً عن مكانة سواه من قوانين الفيزياء الأخرى، كقانون نيوتن في التثاقل مثلاً، لأنه لا يصح إلا في معظم الحالات، لا فيها كلها لزاماً. فاحتمال أن توجد كل جزيئات غاز علبتنا في أحد نصفيها، بعد مدة ما، يساوي واحداً من عدة آلاف المليارات، لكن ذلك يمكن أن يحدث. أما من أجل ثقب أسود موجود في الجوار فيبدو أن هناك طريقة أسهل لانتهاك هذا المبدأ: إذ يكفي لذلك أن نرسل فيه قليلاً

من مادة ذات قسط صغير من الأنتروبيَّة، كعلبة غاز مثلاً. عندئذ تتناقص الأنتروبيَّة الكلية فيما هو خارج الثقب. ولئن كنا ما نزال نستطيع أن ندّعي بأن الأنتروبيَّة الكلية، بما فيها انتروبيَّة أحشاء الثقب الأسود، لم تتناقص، إلا أننا لا نملك وسيلة لتفحص ما حدث في داخله كي نعلم محتوى مادته من الأنتروبيَّة. ومن المهم حتماً أن يكون لدينا إلمام بشيء من خصائص الثقب الأسود يتيح للأرصاد الخارجية أن تقدم معلومات عن انتروبيِّته وإمكانية تزايدها حين سقطت فيه المادة الحاملة للأنتروبيَّة. وبملاحظة الاكتشاف الذي ذكرناه، أي ازدياد سطح الأنق لدى سقوط مادة إضافية في الثقب الأسود، اقترح بيكنشتاين J.bekenstein من برنستون، أن نجعل من هذا السطح قياساً لأنتروبيَّة الثقب الأسود. أي أن مساحة الأفق يجب أن تزداد بنتيجة سقوط مادة ذات انتروبيَّة في الثقب الأسود وبما يحول دون تناقص مجموع الانتروبيتين: انتروبيَّة سطح الأفق وانتروبيَّة المادة داخل الثقب الأسود.

يبدو أن هذا الاقتراح يحمي المبدأ الثاني في الترموديناميك من الانتهاك في معظم الأحوال لكنه ينطوي على محذور كبير. إذ لو كان للثقب الأسود انتروبيَّة لوجب أن تكون له درجة حرارة أيضاً. لكن الجسم الذي له درجة حرارة يُصدر إشعاعاً بمعدل معين. فنحن نعلم أن ملقط النار يصبح بالتسخين متوهجاً ذا إشعاع أحمر؛ لكن الأجسام التي في درجة حرارة أخفض تصدر إشعاعاً أيضاً، لكننا لا نلاحظه لأنه، بكل بساطة، ضعيف جداً. والإشعاع ضروري لتجنب خرق المبدأ الثاني الذي نحن بصدده. وعلى هذا يصبح لزاماً على الثقوب السوداء، وبموجب تعريفها ذاته، أن لا تشع شيئاً. وهكذا يبدو إذن أن مساحة أفق الثقب الأسود لا يمكن أن تتخذ مقياساً لانتروبيته؛ وقد نشرت عام ١٩٧٢، وبالاشتراك مع كارتر والزميل الأمريكي باردين J.bardeen، مقالة تلفت النظر إلى بقاء هذا المحذور الأساسي، رغم وجود نقاط تشابهٍ كثيرة بين الأنتروبيَّة ومساحة الأفق. وعليَّ أن أعترف أنني، حين كتابة تلك المقالة، كنت مغيظاً من سوء استعمال بيكنشتاين لاكتشافي تزايد سطح الأفق. لكن تبين بعدئذ أنه كان على حق، من حيث الأساس، وإن كان لم يدرك آنئذ كيفية ذلك.

وفي أيلول ١٩٧٣، عندما كنت في زيارة موسكو، ناقشت موضوع الثقوب السوداء مع خبيرين سوفييتيين كبيرين، زلدوفيتش Y.Zeldovitch وستاروبنسكي A.Starobinsky، فتوصلا إلى إقناعي بأن الثقوب السوداء الدوراة لا بد لها، بموجب مبدأ الارتياب في ميكانيك

الكم ، من أن تخلق جسيمات وتصدرها . وقد قبلت حججهما الفيزيائية دون تحفظ ، لكنني لم أحب طريقتهما الرياضية في حساب هذا الإشعاع . وعلى ذلك رحت أحاول تخيل معالجة رياضية أفضل عرضتُها في ندوة غير رسمية في اكسفورد في أواخر تشرين الثاني / نوفمبر . ولم أكن في ذلك الوقت قد أجريت الحسابات لتقدير أهمية هذا الإشعاع . كنت أتوقع أن لا أجد سوى الإشعاع الذي تنبأ به زلدوفيتش وستاروبنسكي في حال ثقوب سوداء دوارة . لكنني فوجئت حين أجريت تلك الحسابات ، وامتعضت حين وجدت ما يشير إلى أنه حتى الثقوب غير الدوارة يجب أن تخلق جسيمات وتصدرها بمعدل عال . وقد اعتقدت في البدء أن هذا الإصدار دليل على عدم صحة العمليات التقريبية التي كنت قد استعملتها . وخشيت ، إن سمع بيكنشتاين بذلك ، أن يستخدمه كحجة جديدة لتعزيز رأيه في انتروبيَّة الثقوب السوداء ، تلك الفكرة التي كنت ما أزال لا أحبها . ومع ذلك كنت كلما أطلت التفكير ازداد اقتناعي بوجوب الاحتفاظ بتلك التقريبات . لكن ما اقنعني في نهاية المطاف ، بأن هذا الإصدار موجود فعلاً ، هو أن طيف الجسيمات الصادرة كان مطابقاً بالضبط للطيف الذي يُصدره الجسم الساخن ، وأن الثقب الأسود يصدر جسيمات بمعدل يتفق تماماً مع المبدأ الثاني في الترمودیناميك . ومنذ ذلك الوقت أُجريت الحسابات لدى عدد كبير من الباحثين وبطرق مختلفة جداً ، فأكدت كلها أن الثقب الأسود يصدر حقاً جسيمات وإشعاعاً ، كالجسم الساخن ، بدرجة حرارة لا تتعلق إلا بكتلته : كلما كانت الكتلة كبيرة كانت درجة الحرارة أخفض .

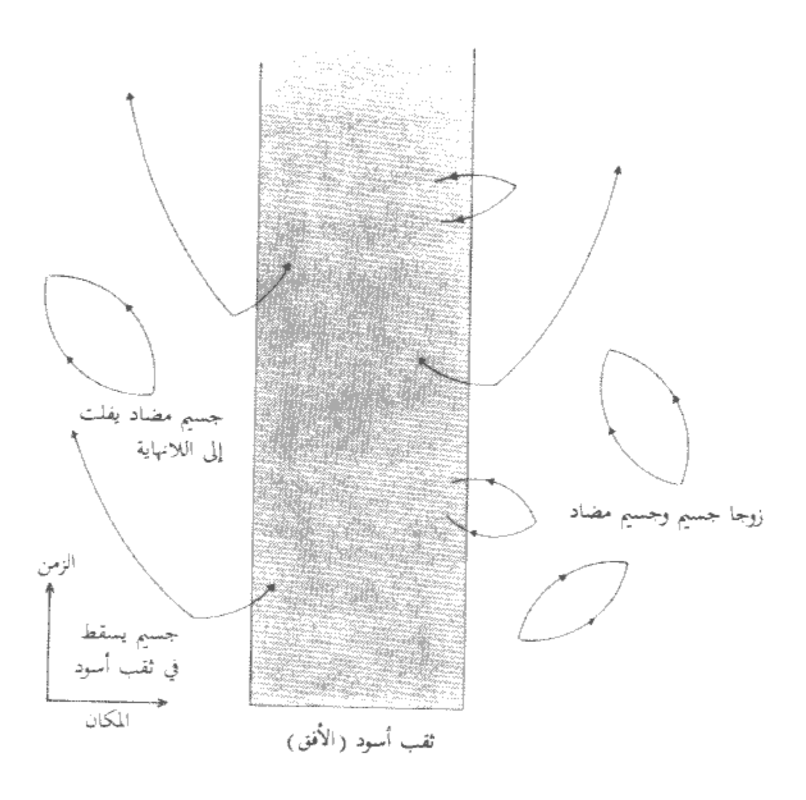
كيف يمكن للثقب الأسود أن يبدو مشعاً لجسيمات ونحن نعلم أن لا شيء يمكن أن يخرج من داخل أفقه ؟ إن جواب النظرية الكمومية هو أن الجسيمات لا تأتي من داخل الثقب الأسود ، بل من فضاء « خالٍ » يقع في الجوار الخارجي القريب جداً من أفقه ! وهذا ما يمكن تفسيره كما يلي : إن ما نعتبره فضاء « خالياً » لا يمكن أن يكون خالياً تماماً إذا فهمنا الخلاء بأنه انعدام كل حقل كهرطيسي أو ثقالي أو سواهما انعداماً تاماً . لكن قيمة الحقل والمعدل الزمني لتغيراته مرتبطان بما يماثل ارتباط مكان الجسيم بسرعته : أي أن مبدأ الارتياب يقضي بأنك إذا عرفت أحد هذين المقدارين بدقة جيدة فإنك لا تستطيع أن تعرف الآخر إلا بدقة رديئة . وعلى هذا لا يمكن للحقل في الفضاء الخالي أن يكون معدوماً تماماً ، إذ لو

حدث ذلك لكان له، في وقت واحد، قيمة معينة تماماً (الصفر) ومعدل تغير معيَّن تماماً (الصفر). فلا بد إذن من وجود قيمة صغرى (غير معدومة) للارتياب، أي للتفاوتات الكمومية، في قيمة ذلك الحقل. ويمكن أن نفكر بهذه التفاوتات على أساس أنها أزواج من جسيمات الضوء، أو الثقالة، تنفصل ثم تتحد من جديد قبل أن تتفانى؛ وهذه الجسيمات وهمية، كتلك التي تحمل القوة الثقالية للشمس؛ لكنها، بخلاف الجسيمات الحقيقية، لا يمكن أن يشعر بها أي كاشف جسيمي. ومع ذلك فإن مفعولاتها غير المباشرة، كالتغيرات الطفيفة في مدارات الكترونات الذرة، يمكن أن تقاس، وهي تتفق جيداً مع التنبؤات النظرية. ومبدأ الارتياب يتنبأ أيضاً بإمكانية وجود أزواج مماثلة ووهمية من جسيمات المادة، كالالكترونات والكواركات. لكن أحد عضوي الزوجين يكون في هذه الحالة جسيماً والآخر جسيماً مضاداً (إن الجسيم المضاد لا يختلف، في حالة الضوء والثقالة، عن الجسيم في شيء).

وبما أن الطاقة لا يمكن أن تخلق من لا شيء، فإن أحد عضوي الزوجين، جسيم/جسيم مضاد، سيمتلك طاقة موجبة والآخر طاقة سالبة. والجسيم ذو الطاقة السالبة محكوم بأن يظل وهمياً، وأن يكون ذا أجل قصير، لأن الجسيمات الحقيقية هي التي تمتلك طاقة موجبة في الظروف العادية؛ فعليه إذن أن يفتش عن نديده المضاد وأن يتفانى معه. على أن الجسيم الحقيقي، القريب من جسم كبير الكتلة، يمتلك من الطاقة مقداراً أقل مما لو كان بعيداً عنه جداً، لأن عليه أن يمتص طاقة تساعده للابتعاد وللتغلب على الجذب الثقالي للجسم. وفي الأحوال العادية تكون طاقة الجسيم موجبة دوماً، لكن الحقل الثقالي ضمن الثقب الأسود شديد لدرجة أن الجسيم الحقيقي نفسه يمكن أن يمتلك هناك طاقة سالبة. وعندما يكون في الجوار ثقب أسود يصبح بالفعل ممكناً للجسيم الوهمي ذي الطاقة السالبة أن يسقط فيه وأن يصبح جسيماً حقيقياً أو جسيماً مضاداً، وعندئذ لا يعود الجسيم محتاجاً إلى التفاني مع نديده المضاد، هذا النديد المعرَّض هو الآخر للسقوط في الثقب أو ،إذا كان ذا طاقة موجبة، للإفلات من جوار الثقب الأسود على شكل جسيم حقيقي أو جسيم مضاد (شكل ٧، ٤) وعندئذ يظهر للراصد البعيد جسيماً صادراً عن الثقب الأسود. وكلما كان الثقب الأسود صغيراً قصُرت المسافة التي على الجسيم الوهمي ذي الطاقة السالبة أن يقطعها

قبل أن يصبح جسيماً حقيقياً، الأمر الذي يزيد في غزارة إشعاع الثقب الأسود وفي درجة حرارته الظاهرية.

شكل ٧، ٤



إن الطاقة الموجبة الصادرة يجب أن يقابلها، في أحشاء الشقب الأسود، تيار جسيمات ذات طاقة سالبة. وبموجب معادلة أينشتاين $E = mc^2$ (حيث E طاقة الجسيم و m كتلته و c سرعة الضوء في الخلاء) تكون الطاقة متناسبة مع الكتلة؛ وبذلك يكون من شأن تيار الطاقة السالبة ضمن الثقب الأسود أن يُنقص من كتلته. وبسبب هذه الخسارة في الكتلة يتقلص سطح الأفق، لكن هذا التناقص الانتروبي يعدّله، وقد يتفوق عليه، تزايد انتروبيّة الإشعاع الصادر، وبذلك يسلم مبدأ الترموديناميك الثاني من الانتهاك.

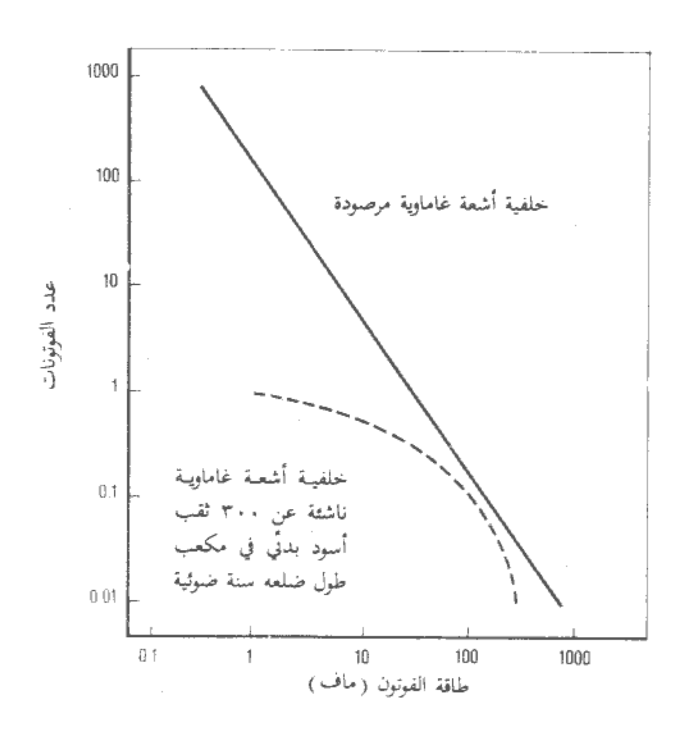
ومن جهة أخرى، كلما كانت كتلة الثقب الأسود صغيرة كانت سخونته عالية. وعلى هذا فإن الخسارة في كتلة الثقب الأسود سيقابلها ارتفاع في درجة حرارته وفي غزارة إشعاعه؛ لكن الخسارة الكتلية ستكون أسرع رغم ذلك. ولئن كنا لا نعلم جيداً حتى اليوم ما يحدث للثقب الأسود عندما تصبح كتلته في النهاية صغيرة جداً إلا أن من المقبول أن نتصور أنه لا بد أن يزول على شكل انفجار إشعاعي هائل يعادل في قوته انفجار الملايين من القنابل الهدروجينية.

إن الثقب الأسود الذي تعادل كتلته عدة أضعاف من كتلة الشمس يجب أن يكون ذا درجة حرارة منخفضة جداً، من رتبة ١٠^-٧^ (واحد مقسوم على عشرة ملايين) درجة فوق الصفر المطلق. وهذه السخونة أقل بكثير من سخونة الإشعاع السنتيمتري الذي يملأ الكون (٢٫٧ فوق الصفر المطلق)؛ ومثل هذه الثقوب تُصدر من الإشعاع أقل بكثير مما تمتص. فإذا كان مصير العالم توسعاً أبدياً فسينتهي الأمر بسخونة الإشعاع السنتيمتري إلى النزول إلى ما دون سخونة الثقب الأسود، وعندئذ تبدأ الخسارة في كتلة الثقب. لكن سخونته، حتى عندئذ، ستنخفض إلى درجة يحتاج معها إلى قرابة ألف مليار مليار مليار مليار مليار مليار عام (١٠^٦٦^: أي واحد متبوع بـ٦٦ صفراً) كي يتبخر بتمامه؛ وهذه مدة أطول من عمر الكون، وهو لا يتجاوز عشرة مليارات عام أو عشرين. ومن جهة أخرى لا بد أن يكون هناك، كما ذكرنا في الفصل السادس، ثقوب سوداء صغيرة في مستهل الزمن، ذات كتل أصغر بكثير، ناشئة عن اختلالات توزع المادة في مراحل العالم الأولى. وهذه الثقوب البدئية كانت حتماً ذات سخونة أعلى بكثير وكان إشعاعها أغزر بكثير. وللثقب الذي تبلغ كتلته مليار طن أجل حياتي يساوي عمر العالم تقريباً. أما تلك التي كانت كتلتها أقل من ذلك فلا بد أن تكون قد تبخرت بتمامها قبل اليوم؛ لكن تلك الأكبر قليلاً ما تزال حتماً تُصدر حتى الآن إشعاعاً سينياً أو غاماوياً، أي أمواجاً كهرطيسية كالضوء لكنها ذات أطوال موجات أقصر بكثير. فهذا النوع من الثقوب لا يستحق بجدارة صفة **السواد**: إنها في الواقع ساخنة حتى التوهج وتبلغ غزارة إصدارها الطاقية قرابة عشرة ملايين كيلو واط.

إن الثقب الذي من هذا النوع الأخير يستطيع أن يغذي عشر محطات كهربائية إذا تيسر لنا تدجين طاقته. وهذا أمر من الصعوبة بمكان؛ لكن الثقب الأسود الذي تبلغ كتلته

كتلة الجبل لا يتجاوز قطره جزءاً من مليون مليون جزء من السنتيمتر، أي من رتبة نواة الذرة! فإذا قدَّر الله لأحد هذه الثقوب أن يوجد عند سطح الأرض، فلن نملك وسيلة تمنعه من التوغل إلى مركزها، وسيأخذ هناك بالنوسان حتى يبلغ السكون. وعلى هذا فإن الخدمة الوحيدة التي يمكن أن يسديها لنا هذا الثقب، كي نأمل في استغلال الطاقة الصادرة منه، هي أن يتخذ له مداراً حول الأرض— ولكي نفلح في إقناعه بذلك لا نملك من وسيلة سوى أن نلوّح له بكتلة كبيرة نجرها حول الأرض أمامه، كحزمة حشيش يركض الحمار وراءها! وهي عملية تبدو متعذرة التنفيذ، أليس كذلك؟ في المستقبل المنظور على الأقل.

شكل ٧، ٥



إذا كنا لا نستطيع تدجين إصدارات هذه الثقوب السوداء البدئية فما مبلغ حظنا في رؤية واحد منها؟ إن بامكاننا أن نبحث عن الإشعاعات الغاماوية التي يقضي الثقب معظم حياته في إصدارها. فبالرغم من ضآلة الإشعاع الآتي من معظم عدد أفرادها، بسبب بعدها الكبير عنا، نتوقع أن نستطيع اكتشاف حاصل مجموع إشعاعاتها. ونحن نشاهد مثل هذه

الخلفية الشعاعية الغاماوية، وقد أوردنا في الشكل ٧ ، ٥ بياناً بكيفية تغير شدة هذا الإشعاع المرصود بتغير تواتره (عدد الموجات في الثانية). لكن هذه الخلفية ربما تكون قد نشأت، وهذا هو الأرجح، عن عمليات غير ما يحدث في الثقوب السوداء البدئية. فالخط المتقطع في الشكل ٧ ، ٥ يبين كيف يجب أن تتغير شدة الإشعاع بحسب تواتره من أجل إشعاعات غاماوية صادرة عن مجموعة ثقوب سوداء بدئية يبلغ عددها قرابة ثلاثمئة في كل مكعب طول ضلعه سنة ضوئية واحدة. ويمكن أن نقول بأن أرصاد الإشعاعات الغاماوية لا تقدم أي برهان إيجابي على وجود ثقوب سوداء بدئية، لكنها تؤكد مع ذلك أن العدد الوسطي للثقوب السوداء في العالم لا يتجاوز ثلاثمئة في المكعب الذي طول ضلعه سنة ضوئية. وهذا الحد يعني أن الثقوب السوداء البدئية لا يمكن أن تشكل من مادة هذا الكون أكثر من نسبة واحد إلى مليون.

إن ندرة عدد الثقوب السوداء البدئية لهذه الدرجة لا تعطينا، على ما يبدو، أي حظ في اكتشاف واحد قريب منا قرباً يكفي لإمكانية رصده كمنبع فرد ذي إشعاع غاماوي. لكن بما أن من شأن الثقالة أن تجذب تلك الثقوب البدئية باتجاه أية مادة، فإن شيوعها لا بد أن يكون أكبر من ذلك بكثير حول المجرات وفي أحشائها. هذا ورغم أن الخلفية الغاماوية السماوية لا تنبئ عن أكثر من ثلاثمئة في مكعب السنة الضوئية إلا أنها لا تقول لنا شيئاً عما إذا كانت شائعة في مجرتنا أم لا. وإذا كان شيوعها أكبر بمليون مرة مثلاً من الوسطي المحسوب فمن المتوقع أن يكون بعد أقرب ثقب أسود عنا مساوياً مليار كيلو متر تقريباً، أي على مسافة منا تقارب بُعد بلوتو، أبعد كوكب معروف. وما يزال من الصعب جداً، حتى على هذه المسافة، أن نستشعر إشعاعه الخاص، ولو بلغ عشرة ملايين كيلو واط. فلكي نتأكد بالرصد من وجود ثقب أسود بدئي يجب أن نستطيع كشف بضعة كموم غاماوية في مدة مقبولة، ولنقل أسبوعاً، وقادمة من اتجاه واحد؛ وإلا فلن نستطيع أن نعزوها لغير إشعاع الخلفية الغاماوية السماوية. لكن بما أن مبدأ بلانك الكمومي يقول لنا بأن الكمّ الغاماوي الواحد يحمل طاقة كبيرة جداً، بسبب عظم تواتره، فإن بضعة كموم غاماوية تكون كافية لحمل عشرة ملايين كيلو واط. لكن عملية الرصد من مسافة تضاهي بعد بلوتو عنا تتطلب

كاشفاً لأشعة غاما أقدر بكثير مما نستطيع صنعه حتى الآن. وفوق ذلك يجب وضع هذا الكاشف خارج الجو الأرضي لأن أشعة غاما لا يمكن أن تتوغل في هذا الجو.

لكن لو تبخر، في نهاية حياته، ثقب أسود واقع على بعد بلوتو لاستطعنا، طبعاً وبكل سهولة، أن نكشف الإشعاع الناجم عن انفجاره. أما وأنه ما زال منذ عشرة مليارات عام أو عشرين منهمكاً في نشر إشعاعه فإن حظنا في أن نشاهد، في الأعوام المأمولة القادمة، موكب جنازته الإشعاعي هزيل لدرجة تثير السخرية، بل وأهزل بكثير جداً مما كان خلال ملايين السنين الماضية التي لم تشهد بعد وفاته! ولكي يكون لنا حظ معقول في رؤية واحد من هذه الانفجارات، قبل أن نستنفذ ميزانية هذه البحوث، لا بد من إيجاد وسيلة لكشف كل الانفجارات التي تحدث ضمن مسافة سنة ضوئية. وتبقى مع ذلك قائمةً مشكلة صنع كاشف غاماوي قادر على رصد بضعة كموم صادرة عن الانفجار. لكننا عندئذ نستغني عن التأكد من أن كل الكموم آتية من اتجاه واحد: إذ يكفي أن تصل كلها ضمن فترة زمنية قصيرة جداً كي نكون على يقين من أنها قادمة حقاً من انفجار واحد.

إن جو كرتنا الأرضية كاشف غاماوي قادر على استشعار الثقوب السوداء البدئية. (إننا على الأرجح عاجزون عن بناء كاشف أكبر منه!) وعندما يصدم كمّ غاماوي ذو طاقة عالية ذرة من جونا تنشأ عن الصدم أزواج إلكترونية بوزترونية (البوزترون هو الجسيم المضاد للالكترون). وعندما تصدم هذه الأزواج ذراتٍ أخرى فإنها تولّد بدورها أزواجاً؛ وهكذا يتولد ما نسميه تيار إلكترونات. وبنتيجة ذلك يصدر ضوء يدعى إشعاع تشيرنكوف Čerenkov. نستطيع إذن كشف انبعاثات أشعة غاما بالتحري عن الومضات الضوئية في سماء الليل. ولكننا نعلم أن هناك ظواهر أخرى، كالصواعق وكانعكاسات ضوء الشمس عن الأقمار الصنعية أو عما يدور من حطامها حول الأرض، يمكن أن تثير ومضات في سماء الليل. فلتمييز الانبعاثات الغاماوية المقصودة عن هذه الظواهر الأخرى يجب أن نرصد الومضات في وقت واحد في مكانين متباعدين جداً من السماء أو في عدة أمكنة متباعدة. وفي دبلن اضطلع العالمان، بورتر N.Porter وويكس T.Weekes، بالبحث عن الظاهرة المقصودة باستخدام مرقابات أريزونا. وقد استطاعا فعلاً تسجيل عدد من هذه الومضات، إلا أن أياً منها لم يكن دليلاً حاسماً يتيح أن نعزوها إلى انبعاثات غاماوية قادمة من ثقوب سوداء بدئية.

إن هذه النتائج، برغم ما يبدو فيها من سلبية بخصوص الثقوب البدئية، تقدم مع ذلك معلومات مهمة عن مراحل العالم الأولى. فلو كان العالم في البداية فوضوياً وغير نسيق، أو إذا كان ضغط المادة ضعيفاً، يكون مباحاً لنا أن نتوقع نشوء عدد من الثقوب السوداء البدئية أكبر من الحد الذي تفرضه أرصاد الخلفية الغاماوية. فنحن لا نستطيع أن نفسر عدم وجود ثقوب سوداء بدئية قابلة للرصد إلا إذا كان العالم في بدئه نسيقاً وأملس جداً.

إن فكرة الإشعاع القادم من الثقوب السوداء كانت أول نماذج التنبؤات الناجمة أساسياً عن النظريتين الكبيرتين اللتين ظهرتا في هذا القرن: النسبية العامة وميكانيك الكم. وقد لاقت في البدء بعض المعارضة لأنها كانت مزعجة على صعيد السؤال التالي: «كيف يمكن للثقب الأسود أن يصدر شيئاً؟». وعندما أذعتُ للمرة الأولى نتائج حساباتي في محاضرة ألقيتها في مخبر رذرفورد ــ أبلتون قرب أكسفورد لم يصدقني أحد. وفي نهاية حديثي أكد رئيس الجلسة، تيلور **J.G.Taylor** من كلية لندن الملكية، أن كل ذلك لا معنى له. حتى أنه كتب مقالة بهذا الخصوص. لكن معظم الباحثين، ومنهم تيلور نفسه، توصلوا في نهاية المطاف إلى نتيجة أن الثقوب السوداء لا بد أن تكون بالفعل مشعة على غرار الأجسام الساخنة إذا كانت أفكارنا عن النسبية العامة وميكانيك الكم صحيحة. وهكذا، وبرغم أننا لم نفلح بعد في اكتشاف ثقب أسود، يتفق الجميع على القول بأننا عندما نجده سنلحظ سيولاً من الإشعاع السيني والإشعاع الغاماوي صادرة منه.

إن وجود إشعاع صادر عن الثقوب السوداء يبدو منطوياً على أن الانهيار الارتصاصي الثقالي ليس حتمياً ولا ذا اتجاه واحد بالدرجة التي كنا نظنها. فلو سقط ملاح فضائي في ثقب أسود فإن كتلة الثقب تزداد، لكن الطاقة المكافئة لهذه الزيادة ستعود في النهاية إلى الفضاء على شكل إشعاع. وعلى ذلك نرى بمعنى ما أن الملاح يُبعث من جديد «خلقاً آخر» لكنه نوع من الخلود عقيم، لأن كل مفهوم شخصي للزمن عنده سيلقى حتفه في نهاية محتومة بمجرد أن يتمزق جسده ضمن الثقب الأسود! حتى أنواع الجسيمات التي يمكن أن تصدر أخيراً عن الثقب الأسود ستكون مختلفة عن تلك التي كان يتألف منها جسد الملاح: لن يخلد من أصله سوى كتلته أو الطاقة المكافئة لها.

يُفترض في عمليات التقريب، التي استخدمتها في سبيل اثبات إصدار الثقوب السوداء، أن تظل فعالة في حال ثقب أسود ذي كتلة أكبر من جزء من الغرام. لكنها تفقد صلاحيتها في نهاية حياة الثقب الأسود عندما تصبح كتلته صغيرة جداً. والمصير الأرجح لهذا الثقب، إن كان له ثمة مصير، هو الاختفاء، من منطقتنا على الأقل، آخذاً معه الملاح وكل متفرد في أحشائه. وهنا نجد أول دليل على أن ميكانيك الكم يستطيع أن يلغي المتفردات التي تتنبأ بها النسبية العامة. والواقع أن الطرائق التي اتبعتها مع زملائي عام ١٩٧٤ لم تكن تتيح تأكيد وجود المتفردات في الثقالة الكمومية. وقد شرعتُ في بداية ١٩٧٥ بتطوير تناول أنجع للثقالة الكمومية يعتمد على فكرة «تكامل الطرق» التي ابتدعها فاينمان. وستكون الأجوبة التي يوحي بها هذا التناول، بخصوص أصل العالم ومصير مكنوناته كملاحنا الفضائي، موضوع الفصلين القادمين. وسنرى عندئذ، رغم أن مبدأ الارتياب يفرض حدوداً على صحة تنبؤاتنا، أن هذا المبدأ يمكن أن يستبقي نبوءة أساسية تظهر في المتفرد الزمكاني.

٨ أصل العالم ومصيره

تشير نظرية أينشتاين في النسبية العامة إلى أن الزمكان بدأ في متفرد من نوع الانفجار الأعظم وأنه صائر إلى انسحاق شديد، أي تقلص أعظم (إذا عاد إلى الانكماش) أو إلى متفرد ضمن ثقب أسود (إذا ارتصت منطقة موضعية، كالنجم). أي أن المادة كلها، الساقطة في الثقب الأسود، تختفي في المتفرد ولا يبقى سوى مفعول كتلتها الثقالي سائداً في خارج المتفرد. ومن جهة أخرى عندما أخذنا المفعولات الكمومية في الحسبان بدا لنا أن الكتلة، أو الطاقة المكافئة لها، تعود في النهاية إلى بقية العالم، وأن الثقب الأسود والمتفرد القابع في أحشائه يتبخران ويختفيان إلى الأبد. فهل لميكانيك الكم حقاً هذا التأثير المأساوي على المتفردات التي تتخذ شكل تقلص أعظم أو انفجار أعظم. وماذا يحدث في حقيقة الأمر للعالم في أثناء مراحله الأولى أو النهائية عندما تكون حقول التثاقل شديدة لدرجة يستحيل معها إهمال المفعولات الكمومية؟ هل للعالم في الواقع بداية ونهاية؟ وإذا كان الأمر كذلك فما هي أوصافهما؟.

كان اهتمامي في أعوام السبعينات منصبّاً على دراسة الثقوب السوداء خصوصاً. لكن فضولي استيقظ عام ١٩٨١ على أصل العالم ومصيره حين دُعيت إلى مؤتمر عقده الآباء اليسوعيون في الفاتيكان حول علم الكون. كانت الكنيسة الكاثوليكية قد اقترفت ذنباً كبيراً في حق غاليليو حين حاولت إصدار تشريعات في الحقل العلمي، مدعية أن الشمس تدور

حول الأرض. وهكذا قررت إذن، بعد قرنين من الزمان، أن تدعو عدداً من الخبراء للتناقش في علم الكون. وفي ختام المؤتمر حَظِيَ المشاركون بمقابلة مع البابا الذي كان يرى خيراً في دراسة تطور العالم بعد الانفجار الأعظم، أما ما حدث في أثنائه فليس من شأننا الخوض فيه لأنه لحظة خلق العالم، وخلق العالم من شؤون الله وحده. وقد سُررت آنذاك من أنه لم يكن قد علم موضوع محاضرتي في جملة أعمال المؤتمر ـــ أي إمكانية أن يكون الزمكان محدوداً دون أن يكون، مع ذلك، ذا حدود؛ أي أنه غير ذي بدء، ليس فيه لحظة خلق. كنت أخشى أن ألقى مصير غاليليو الذي كنت أشعر بتقمصي شخصيته شعوراً قوياً يعود بعض سببه إلى المصادفة التي قضت بأن أولد بعد وفاته بثلاثمئة عام بالضبط!.

ولفهم الأفكار التي أشارك فيها سواي بخصوص أسلوب تأثير ميكانيك الكم في أصل العالم ومصيره، لا بد من أن نعرض أولاً تاريخ هذا العالم، بالشكل المقبول عموماً، بالاعتماد على ما يُعرف باسم «نموذج الانفجار الأعظم الساخن». يقول هذا المذهب بأن العالم يتصف بأوصاف نموذج فريدمان منذ الانفجار الأعظم. وفي نماذج من هذا القبيل يتبين أن العالم كلما ازداد توسعه بردت مادته وإشعاعه. (عندما يبلغ العالم ضعفي حجمه تنخفض درجة حرارته إلى نصفها). ولما كانت درجة الحرارة معياراً لقياس الطاقة الوسطية للجسيمات ـــ أو لسرعتها ـــ فلا بد أن يكون لتبرد العالم تأثير كبير على مكنوناته المادية. ففي درجات الحرارة العالية تتحرك الجسيمات بسرعات كبيرة تتيح لها الانفلات من كل جذب نووي أو كهرطيسي؛ لكنها بعد أن تتبرد يزداد تأثرها بتجاذبها المتبادل وتبدأ بالتجمع. كما أن جنس الجسيمات منوط هو الآخر بدرجة الحرارة. ففي السخونات العالية تكون طاقة الجسيمات كبيرة بما يكفي لكي تنشأ في كل تصادم أزواج من الجسيمات وأضدادها من كل نوع وجنس. ورغم أن بعض هذه الجسيمات تصير إلى التفاني لدى اصطدامها بمضاداتها، إلا أن عدد ما يولد يفوق عدد ما يفنى. لكن انخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى تناقص عنف التصادم، فتنقلب الآية ويفنى من الجسيمات المتضادة أكثر مما يولد.

لكن المفروض في العالم أنه كان، في لحظة الانفجار الأعظم، ذا حجم معدوم، وبالتالي ذا درجة حرارة لا نهائية الكبر. لكن شروعه في التوسع واستمراره فيه يؤديان إلى تناقص سخونة الإشعاع. ومن المظنون أن درجة الحرارة قد هبطت، في نهاية الثانية الزمنية

الأولى بعد الانفجار الأعظم، إلى حوالي عشرة آلاف مليون درجة، أي قرابة ألف مرة من درجة حرارة مركز الشمس، وهي السخونة التي تنشأ لدى انفجار القنبلة الهدروجينية. كان معظم مادة العالم يتألف آنذاك من فوتونات والكترونات ونترينوات (النترينوات جسيمات خفيفة جداً جداً ولا تتأثر إلا بالتفاعل الضعيف وبالثقالة) ومضاداتها ومن بروتونات وبضعة نترونات. وفي أثناء استمرار توسع العالم وانخفاض درجة حرارته كان على معدَّل نشوء الضدين، الكترونات/الكترونات مضادة، بالتصادم أن يهبط إلى ما دون معدل تفانيهما. وبذلك كان على الالكترونات وأضدادها أن تتفانى معاً لتسفر عن ازدياد عدد الفوتونات الناجمة عن هذا التفاني ولا ينجو سوى بضعة الكترونات. أما النترينوات وأضدادها فلا تتفانى فيما بينها لأن هذه الجسيمات لا تتفاعل إلا مع نفسها، ونادراً جداً مع سواها. وعلى هذا لا بد أن تكون موجودة حتى اليوم؛ ولو استطعنا رصدها لاختبرنا بوساطتها أوصاف العالم في بدايته الحارة جداً؛ لكنها، مع الأسف، أصبحت اليوم ذات طاقات أضعف من أن تتيح لنا إجراء هذا الاختبار. ومع ذلك، إذا لم تكن النترينوات عديمة الكتلة، بل إذا كانت تملك كتلة صغيرة كما توحي بذلك تجربة غير مؤكدة أجراها الروس عام ١٩٨١، يصبح من الممكن استشعارها بطريقة غير مباشرة: عندئذ يمكن أن نجد أن النترينوات تشكل قسطاً من تلك «المادة الخفية» التي تكلمنا عنها سابقاً بأمل أن تسهم بحقلها الثقالي في لجم توسع العالم وإيقافه قائدةً إياه إلى التهافت الارتصاصي من جديد.

وبعد مئة ثانية تقريباً من الانفجار الأعظم هبطت السخونة إلى مليار درجة، وهي حرارة قلب أسخن النجوم. وعندئذ لم تعد البروتونات والنترونات ذات طاقة تكفي للإفلات من قوى التجاذب النووية الشديدة فبدأت بالالتحام معاً لتشكل نوى ذرات الدوتيريوم (الهدروجين الثقيل) التي تضم بروتوناً واحداً ونتروناً واحداً. ثم اندمجت مع هذه النوى بروتونات ونترونات أخرى فتشكلت نوى الهليوم ــ بروتونان ونترونان ــ مع كميات ضئيلة من أزواج عناصر أثقل، الليتيوم والبيريليوم. وقد تبين بالحساب، في نموذج الانفجار الأعظم الساخن، أن قرابة نصف البروتونات والنترونات قد تحولت إلى نوى هليوم وكمية صغيرة من الهدروجين الثقيل وعناصر أخرى. أما النترونات الباقية فقد تحولت بالتفكك إلى بروتونات هي نوى الهدروجين العادي.

إن أوصاف عالم بدئي ساخن ظهرت أول مرة في مقالة شهيرة كتبها غاموف G.Gamov عام ١٩٤٨ ووقعها معه تلميذه ألفر R.Alpher . ثم كان من غاموف، وهو المعروف بولعه بالفكاهة، أن أقنع العالم بيث H.Bethe الذي يهتم بالفيزياء النووية بأن يُضيف اسمه إلى قائمة موقعي المقالة كي تشتهر باسم «ألفر، بيث، غاموف» أي الحروف الثلاثة الأولى «ألفا، بيتا، غاما»، من الأبجدية اليونانية: فترتيب الأولوية لهذه الحروف ينسجم مع فكرة أوليات مراحل الكون! وفي هذه المقالة تنبأوا بشكل مدهش بأن الإشعاع الفوتوني الناشئ في مراحل العالم الأولى الساخنة قد يكون ما يزال موجوداً حتى اليوم ولكن بدرجة أعلى من الصفر المطلق (-٢٧٣ درجة مئوية). ذلك هو الإشعاع الذي اكتشفه بنزياس وويلسون عام ١٩٦٥. والجدير بالذكر أن المعلومات المتوفرة عن التفاعلات النووية للبروتونات والنترونات كانت قليلة حين ظهرت مقالة «ألفا بيتا غاما»، كما أن التنبؤات التي صدرت آنئذ بخصوص نسب العناصر في بدايات العالم كانت خاطئة نوعاً ما. لكن الحسابات أجريت من جديد في ضوء المعلومات المتراكمة حتى أصبحت اليوم متفقة بشكل جيد مع دلالات الأرصاد. هذا ومن الصعب جداً أن نفهم، بوسيلة أخرى، سبب الوفرة الكبيرة للهليوم في عالم اليوم. فنحن إذن على ثقة شبه تامة من أننا نعرف جيداً صفات العالم، حتى نهاية الثانية الأولى على الأقل بعد الانفجار الأعظم.

وبعد بضع ساعات توقف انتاج الهليوم والعناصر الأخرى. وفي أثناء آلاف السنين التي تلت، استمر العالم في التوسع دون أن يحدث فيه شيء. وفي النهاية، وبمجرد أن هبطت درجة الحرارة إلى بضعة آلاف وأن فقدت الالكترونات والنوى من الطاقة ما يكفيها للصمود أمام التجاذب الكهرطيسي فيما بينها، بدأت بالتجاذب والتراكب فشكلت الذرات وبقي الكون كله مستمراً في التوسع والتبرد؛ لكن الكثافة كانت في بعض مناطقه أكبر من الوسطي بقليل، مما سبَّب فيها، بالتضافر مع التجاذب الثقالي الأشد، تباطؤاً في التوسع. وكان في النهاية أن توقف التوسع في تلك المناطق ثم انقلب إلى تقلص موضعي. وفيما كانت مادة هذه المناطق تتهافت بعضاً نحو بعض استطاع حقل التجاذب الثقالي المحيط بها أن يعطيها حركة دورانية بطيئة. لكن ازدياد التقارب فيما بينها أدى إلى تزايد سرعة هذا الدوران ـــ تماماً كما تزداد سرعة دوران المتزلق على الجليد عندما يطوي ذراعيه على طول قامته. وعندما تقاربت

أكثر فأكثر راحت تدوِّم بسرعة كافية لنشوء قوة نابذة نحو الخارج (كما تنشدُّ نحو الخارج سيارة مسرعة في منعطف حاد) تكفي لمقاومة التجاذب الثقالي نحو الداخل؛ وبهذه الصورة تكونت المجرات التي اتخذت شكل قرص دوار حول محوره. أما مواد المناطق التي لم تكتسب حركة دورانية فقد تشكلت منها تلك الأجرام البيضوية التي ندعوها المجرات الإهليلجية: لقد توقف التهافت في هذه المناطق لأن الأجزاء المختلفة لهذه المجرات شرعت بالدوران في مدارات مستقرة حول مركزها دون أن تكتسب دوراناً جماعياً.

وبمرور الزمن شرعت التجمعات الغازية، من الهدروجين والهليوم في المجرات، بالتمزق إلى غيمات أصغر تقلصَ حجمُها بفعل ثقالتها الخاصة. وفي أثناء ارتصاصها وتقارب ذراتها بعضاً من بعض ارتفعت درجة حرارة الغاز إلى أن أصبحت عالية لدرجة أن أشعلت التفاعلات النووية. وهذه التفاعلات حولت الهدروجين إلى مزيد من الهليوم، فارتفع الضغط من جراء الحرارة المنتشرة وحال دون استمرار الارتصاص. وقد ظل الجرم المتشكل على حاله هذه مدة طويلة وهو يستهلك هدروجينه ليحوله إلى هليوم ويشع الطاقة الناجمة عن ذلك بشكل حرارة وضوء، كما تفعل شمسنا وأشباهها. لكن النجوم الأضخم كانت تفتقر إلى سخونة أكبر كي تستطيع مقاومة التجاذب الثقالي الأشد، فتفاقمت فيها تفاعلات الاندماج النووي بشكل جعل الجرم يحرق مخزونه من الهدروجين بسرعة استنفذته في زمن قصير لم يتجاوز مئة مليون عام. وعندئذ تقلص النجم قليلاً وراح، بفعل الحرارة الناشئة، يحول هليومه إلى عناصر أثقل، كالكربون والأُكسجين. لكن هذا التحول لا ينشر طاقة كبيرة، فكان أن تفاقمت الأزمة التي تكلمنا عنها في فصل الثقوب السوداء. أما كيف تنجلي هذه الأزمة فغير معروف بشكل واضح؛ ولكن يبدو من الأرجح أن مواد القلب من هذه النجوم قد أصبحت عظيمة الكثافة (نجوماً نترونية مثلاً) أو ثقوباً سوداء. أما المناطق المحيطية فربما كانت قد نُسفت في بعض النجوم أثناء انفجار هائل، يسمى مستعراً فائقاً supernova، يمكن أن يربو سطوعه على مجموع سطوعات كل النجوم الأخرى في المجرة. لكن بعض العناصر الأثقل، مما تشكل في المدة الأخيرة من حياة النجم، تطايرت في غاز المجرة فشكلت جزءاً من المادة الخام التي ستولِّد جيلاً ثانياً من النجوم. وشمسنا الخاصة تحوي قرابة ٢٪ من هذه العناصر الأثقل، لأنها نجم من الجيل الثاني أو الثالث تشكل، منذ قرابة خمسة مليارات عام، من غيمة غازية دوامة

تضم حطام مستعرات فائقة قديمة. فتشكلت الشمس من معظم غاز الغيمة، وانتسف بعضه، لكن كميات صغيرة من العناصر الأثقل تجمعت في كتل تدور اليوم حول الشمس، هي الكواكب التي نعيش اليوم على واحد منها.

كانت الأرض في البدء حارة جداً وغير ذات جو، ثم بردت بمرور الزمن واكتسبت جواً نشأ عن الإصدارات الغازية من الصخور. ولم يكن بإمكاننا العيش في ذلك الجو الأولي لأنه كان خالياً من الأكسجين ومؤلفاً من مجموعة غازات قاتلة ككبريت الهدروجين (الغاز الذي يعطي البيض المنتن رائحته). وقد كان حتماً بإمكان بعض العضويات الحية أن تنمو في تلك الظروف. ويُظن أنها تطورت في البحار وربما تكون قد نشأت بالمصادفة من تراكب ذرات اجتمعت في بنى ندعوها اليوم بالجزيئات الضخمة macromolecules قادرة على ضم ذرات أخرى، من المحيط البحري، ذات بنى مشابهة. ثم كان أن تناسخت هذه الكائنات وتكاثرت. وقد حدثت أحياناً أخطاء في التناسخ أسفر معظمها عن جزيئات ضخمة جديدة عاجزة عن التناسخ فكان مصيرها الفساد والفناء. لكن بعض تلك الأخطاء أسفرت عن جزيئات ضخمة جديدة أكثر فعالية على صعيد التناسخ، فكانت تتمتع إذن بمزايا جعلتها تحل بالتدريج محل جداتها الأولى. وبهذا الأسلوب بدأ عهد من العمليات التطورية أدى إلى نمو أكثر فأكثر تعقيداً وقدرةً على التناسخ الذاتي. كانت أشكال الحياة البدئية الأولى تستهلك مواد شتى، بما فيها كبريت الهدروجين، وتنفث الأكسجين. وقد أدى ذلك إلى تعديل متواصل في بنية الجو حتى بلغ التركيب الحالي وأتاح نشوء أشكال حيوية أكبر حجماً، كالأسماك والزواحف والثدييات، ثم الإنسان في نهاية الأمر.

إن هذا الوصف للعالم، ساخناً جداً في البدء وآخذاً بالتبرد مع ازدياد توسعه، يتفق مع كل البراهين الرصدية التي بحوزتنا اليوم. ومع ذلك ما يزال يوجد بهذا الصدد عدد من الأسئلة الهامة دون جواب.

١ ــ لماذا كان العالم البدئي حاراً لتلك الدرجة؟.

٢ ــ لماذا كان العالم الحاضر سوياً لذلك الحد في مداه الواسع؟ أي لماذا يبدو مماثلاً لنفسه في شتى مناطق الفضاء وفي كل الاتجاهات؟ وبصورة خاصة، لماذا كانت درجة حرارة الإشعاع السنتيمتري لأرضية السماء ثابتة القيمة من اتجاه رصدي لآخر؟ إن الموقف

هنا يشبه قليلاً ما يحدث بعد طرح سؤال واحد في امتحان عدد من الطلاب. فلو أعطى الجميع جواباً واحداً بالضبط كان من شبه المؤكد أن اتصالات قد حصلت بينهم. لكن الضوء، في النموذج الذي فصّلنا أوصافه، قد لا يملك بعد الانفجار الأعظم الوقت الكافي كي يذهب من منطقة لأخرى بعيدة، حتى ولو كانت المنطقتان متجاورتين في العالم البدائي. وإذا كان الضوء نفسه غير قادر، بموجب نظرية النسبية، على الوصول من منطقة لأخرى فليس باستطاعة أي خبر أن يفعل ذلك. وعلى هذا لا نرى أي سبب يتيح لبعض مناطق العالم البدائي أن تبلغ درجة الحرارة التي يبلغها البعض الآخر. اللهمَّ إلا إذا كانت، لسبب لا نعرفه، قد بدأت وجودها بدرجة حرارة واحدة.

٣ ــ لماذا انطلق العالم بمعدل توسع قريب جداً من القيمة الحرجة التي تفصل ما بين النماذج المنبئة عن عودته إلى التقلص وبين النماذج التي لا تبيح له ذلك أبداً، ولدرجة أنه ما زال حتى الآن، بعد مضي عشرة مليارات عام، يتوسع بمعدل قريب من تلك القيمة الحرجة؟ فلو كان معدل توسعه بعد ثانية من الانفجار الأعظم أصغر قليلاً، ولو بنسبة واحد من مئة مليون مليار، لكان العالم قد باشر ارتصاصه قبل أن يبلغ حجمه الحالي.

٤ ــ بالرغم من أن العالم سويّ البنية ومتجانس لهذه الدرجة، في مداه الواسع، فإنه ما زال يحوي إختلالات محلية، كالنجوم والمجرات. ويُعتقد أن هذه الشذوذات قد نشأت عن فروق كثافية ضئيلة من منطقة لأخرى من العالم البدائي. فما أصل هذه الفروق؟.

إن النسبية العامة، بحد ذاتها، عاجزة عن تفسير هذه المواصفات وعن الإجابة عن تلك الأسئلة، وذلك بسبب نبوءتها التالية. إن العالم بدأ من كثافة لا نهائية الكبر في متفرد الانفجار الأعظم. وفي المتفرد ربما تلقى النسبية العامة وجميع قوانين الفيزياء حتوفها: فنكون عاجزين عن التنبؤ بما سيخرج من المتفرد. وهذا يعني، كما شرحنا سابقاً، أننا نستطيع على حد سواء أن نُسقط من النظرية الانفجار الأعظم والأحداثَ التي سبقته لأنها عديمة الأثر تماماً فيما نرصد اليوم. فالزمكان يجب أن يكون له حد بدئي لحظة الانفجار الأعظم.

يبدو أن العلم قد اكتشف مجموعة قوانين تنبئ، ضمن الحدود التي يفرضها مبدأ الارتياب، عن كيفية تطور العالم بمرور الزمن إذا علمنا حالته في أية لحظة ما. ربما كانت هذه القوانين قد خُلقت في الأصل من قِبلَ الله، ولكن يبدو أن الله قد ترك العالم منذئذ

يتطور وفق تلك القوانين ، ولم يعد يتدخل بعدئذ . ولكن كيف انتقى الله الحالة البدئية ، أي هيئة العالم؟ أو ما هي «الشروط الحدودية» عند بدء الزمن؟ .

إن من بين الأجوبة الممكنة جواب يقول بأن الله اختار التشكيل البدئي للعالم لأسباب لا أمل لنا في فهمها . صحيح أن ذلك شيء يقع ضمن إمكانيات كائن قدير ، ولكن لماذا اختار أن يتركه يتطور حسب قوانين نستطيع فهمها ، بعد أن جعله يبدأ بشكل عصي لهذه الدرجة على الإدراك؟ إن تاريخ العلوم كله ليس أكثر من إدراك تدريجي لواقع أن الحوادث لا تحصل بشكل اعتباطي بل تنبئ عن نظام صميمي ربما كان ، أو لم يكن ، بوحي من الله . لكن من الطبيعي عندئذ أن نفترض أن هذا النظام لا يتناول القوانين فقط ، بل يتناول أيضاً الظروف التي سادت عند حدود الزمكان والتي تحكمت في نوعية حالة العالم البدئية . إن من الممكن أن يوجد عدد من النماذج يتخذها العالم مختلفة باختلاف الظروف البدئية وتطيع كلها القوانين نفسها . فلماذا لا يوجد مبدأ يميِّز حالة بدئية معينة ، وبالتالي نموذجاً لتمثيل عالمنا؟ .

إن إمكانية كهذه هي ما اسميناه الشروط الحدودية العشوائية . إنها تفرض ، بشكل ضمني ، إما أن العالم منته مكانياً وإما أن ثمة عدداً لا نهائياً من العوالم . وفي هذه الشروط يكون احتمال وجود منطقة خاصة من الفضاء في أي شكل معين بعد الانفجار الأعظم مباشرة مساوياً ، بمعنى ما ، احتمال وجود هذه المنطقة نفسها في أي شكل آخر : أي أن الحالة البدئية للعالم منتخبة بالمصادفة البحتة . وهذا يعني أن العالم البدائي كان على الأرجح عشوائياً جداً وعديم الانتظام ، لأن عدد التشكيلات العشوائية الفوضوية ، التي يمكن أن يتخذ العالم أحدها ، أكبر بكثير من عدد الحالات الملساء المرتبة . (إذا كان الاحتمال لا يختلف بين تشكيل وآخر فمن شبه المؤكد أن العالم بدأ في حالة عشوائية وفوضوية ، لأنها بكل بساطة أكثر عدداً من الحالات المرتبة) . ومن الصعب أن نرى لماذا أسفرت ظروف الفوضى البدئية عن عالم على هذه الدرجة من «الملاسة» والانتظام في مداه الواسع كعالمنا هذا الآن . وكنا نتوقع أيضاً أن تؤدي التفاوتات الكثافية ، في نموذج كهذا ، إلى تشكل ثقوب سوداء بدئية عددها أكبر بكثير من الحد الأعلى الذي تعينه عمليات رصد الإشعاع الغاماوي الصادر عن صفحة السماء .

لو كان العالم لانهائياً حقاً في المكان ، أو لو كان هناك عدد لانهائي من العوالم ، فلا بد

على الأرجح من وجود مناطق واسعة، في مكان ما، بدأت بشكل أملس ونظيم. وهذا يشبه زمرة من القرود تركناها تدق على آلات كاتبة وفق هواها ـــ إن أكبر قسط مما يكتبونه سيكون جديراً بسلة المهملات، لكن مصادفة نادرة جداً قد تحدث ويكتبون مسرحية هاملت لشكسبير. وعلى غرار ذلك، هل اتفق لنا أن نعيش في منطقة اتفق لها أن تكون ملساء وذات نمط واحد؟ إن ذلك قد يبدو، للوهلة الأولى، قليل الاحتمال جداً لأن مثل هذه المناطق الملساء كان يجب أن تكون أقل عدداً من المناطق الفوضوية غير النظيمة. ولكن لنفترض أنه لم تتشكل مجرات ونجوم إلا في المناطق النسيقة، وأننا أيضاً لا نصادف إلا هنا ظروفاً صالحة لنشوء وتطور كائنات حية قادرة على التناسخ، مثلنا، وجديرة بأن تطرح السؤال: لماذا العالم أملس لهذه الدرجة؟ وهذا نموذج حي لما يعرف اليوم باسم المبدأالبشري anthropic principle الذي يمكن اختصاره بالجملة التالية: «إننا نرى العالم على ما هو عليه لأننا موجودون».

إن لهذا المبدأ البشري نسختين: ضعيفة وقوية. تقول النسخة الضعيفة بأن الظروف الضرورية لنمو الحياة الذكية، في عالم كبير ولانهائي مكانياً أو زمانياً أو كليهما معاً، لا تُصادَف إلا في بعض مناطق محدودة في المكان وفي الزمان. فهذه الكائنات الذكية، في هذه المناطق، يجب أن لا تندهش إذن من أن جوارها في العالم يوفر الشروط اللازمة لوجودها. على غرار رجل ثري يعيش في بيئة ثرية فلا يشاهد الفقر أبداً.

وكمثال على استخدام هذا المبدأ البشري الضعيف نسوق «شرح» سبب أن يظهر أن الانفجار الأعظم حدث قبل الآن بعشرة مليارات عام (لقد استوجب تطور الكائنات الذكية كل هذا الوقت). فقد ذكرنا أن سلالةً أولية من النجوم قد تشكلت في بادئ الأمر. وهذه النجوم حولت جزءاً من هدروجينها وهليومها الأصليين إلى عناصر، كالفحم والأُكسجين، صُنعت منها أجسادنا؛ ثم انفجرت هذه النجوم على شكل مستعرات فائقة وتكونت من شظاياها نجوم أخرى وكواكب، منها كواكب منظومتنا الشمسية التي عمرها الآن زهاء خمسة مليارات عام. كانت الأرض في المليارين الأولين أسخن من أن تسمح بتطور أية بنية معقدة. أما ثلاثة المليارات التالية، أو نحوها، فقد استُغلت لحصول التطورالبيولوجي البطيء الذي أنشأ من أبسط العضويات كائنات قادرة على صعود سلم الزمن نحو الماضي حتى الانفجار الأعظم.

لا شك أن عدد من يجادلون في صحة المبدأ البشري الضعيف ، أو في جدواه ، قليل . لكن بعض رجال العلم يذهبون إلى أبعد من ذلك ويقترحون نسخة قوية من هذا المبدأ تقول : إما أن هناك عوالم كثيرة متخالفة ، وإما أن هناك في عالم واحد عدة مناطق متخالفة ، وربما كان لكل من هذه العوالم أو المناطق مجموعة قوانين علمية خاصة به . ومعظم تلك العوالم غير ذات ظروف صالحة لنمو عضويات معقدة ، وأنه لم تنشأ إلا في بضعة عوالم كعالمنا كائنات ذكية مثلنا ، تطرح السؤال : « لماذا كان العالم كما نراه ؟ » عندئذ يكون الجواب بسيطاً : لو كان غير ذلك لما كنا هنا ! .

إننا نعلم اليوم أن قوانين الفيزياء تحوي كثيراً من الأعداد الأساسية ، كمقدار شحنة الالكترون الكهربائية ونسبة كتلتي البروتون والالكترون . لكننا لا نستطيع ، في الوقت الحاضر على الأقل ، أن نتنبأ نظرياً بمبلغ هذه الأعداد ــ علينا أن نجدها انطلاقاً من التجارب . وقد نكتشف ذات يوم نظرية موحدة تتنبأ بها كلها ، لكن من الممكن أيضاً أن تختلف قيم بعضها ، أو كلها ، من عالم لآخر أو ضمن العالم الواحد . ومما يلفت النظر هو أن مبلغ هذه الأعداد يبدو مختاراً بكل دقة ليتيح نشوء الحياة . فلو كانت شحنة الالكترون الكهربائية ، مثلاً ، مختلفة قليلاً عما هي لتعذر على النجوم أن تستهلك الهدروجين والهليوم وأن تتفجر . صحيح أن بعض أنواع الحياة الذكية يمكن أن توجد ــ مما قد لا يخطر لكتاب الخيال العلمي ببال ــ ومما لا يتطلب ضوءاً من نجم كالشمس ولا عناصر كيميائية أثقل انسكبت في بطن النجوم ثم تطايرت في الفضاء بانفجارها . ولكن لا يوجد ، على ما يبدو ، سوى مجال ضيق نسبياً لتغير قيم تلك الأعداد كي تظل قائمةً إمكانيةُ نشوء أي شكل من أشكال الحياة الذكية . ولئن كان بمقدور معظم مجموعات هذه القيم أن تسفر عن عوالم جميلة إلا أنك لن تجد في أي عالم منها إنساناً واحداً يستمتع بذلك الجمال . وهذا ما يمكن أن تعدَّه برهاناً على إرادة ربانية قررت الخلق وانتقاء القوانين الفيزيائية ، أو تعدَّه مستنداً للمبدأ البشري القوي .

يمكن أن تنشأ بعض الاعتراضات على تفسير الحالة المرصودة للعالم بالمبدأ البشري القوي . فما هو ، أولاً ، المعنى الذي يمكن أن يتخذه قولنا بأن كل هذه العوالم المتخالفة موجودة ؟ وإذا كانت حقاً منفصلة بعضاً عن بعض فماذا يحدث إذا لم يكن لأي منها تأثير ملحوظ في عالمنا الخاص بنا ؟ علينا إذن أن نستخدم المبدأ الاقتصادي ونطرحه من النظرية .

ومن جهة أخرى، إذا كانت الحال مجرد مناطق شتى من عالم واحد فإن قوانين الفيزياء يجب أن تكون واحدة في كل المناطق، وإلا لما أمكن الانتقال من منطقة لأخرى. وفي هذه الحالة سيقتصر الاختلاف بين المناطق على التشكيل البدئي، وعندئذ ينزل المبدأ البشري القوي إلى مرتبة نسخته الضعفية.

أما الاعتراض الثاني على المبدأ البشري القوي فهو أنه يتعارض مع تاريخ العلوم كله. فنحن قد صنعنا صورة العالم الحديثة بدءاً من آراء بطليموس ومن سبقه في أن الأرض مركز العالم ومروراً بآراء كوبرنيق وغاليليو في أن الشمس هي المركز، ثم جعلنا من الكرة الأرضية كوكباً متواضع الحجم دواراً حول نجم عادي واقع في المنطقة المحيطية من مجرة عادية ذات شكل حلزوني ليست، هي الأخرى، سوى واحدة من ألوف مليارات المجرات في العالم المرصود. والآن يقول لنا المبدأ البشري القوي إن بناء هذا العالم برمته لم يكن ليوجد إلا من أجلنا. وهذا شيء يصعب تصديقه. فلئن كانت منظومتنا الشمسية بالتأكيد شرطاً مسبقاً لازماً لوجودنا، وكان باستطاعتنا أن نعمم هذا القول على مجمل مجرتنا لكي نأخذ في الحسبان تشكل النجوم الأولى التي صُنعت فيها الذرات المادية الثقيلة، إلا أن هذه الشرط ليس ضرورياً ليكون العالم نفسه وبكل مجراته الأخرى على تلك الدرجة من الاتساق والتماثل، مكانياً وفي كل اتجاه، في مداه الواسع.

كان يمكن أن نكون أكثر سعادة بالمبدأ البشري لو استطعنا أن نبرهن على أن عدداً معقولاً من مختلف الأشكال البدئية، التي كان بإمكان العالم أن يتخذها، يمكن أن تتطور بما يسفر عن عالم من نوع عالمنا المرصود. فلو كان الأمر كذلك لتيسَّر للعالم، الذي تطور بدءاً من نوع معين من الظروف البدئية التي تتوفر مصادفة، أن يحوي عدداً من المناطق الملساء النسيقة التي تلائم نشوء حياة ذكية. أما في خلاف ذلك، أي إذا كانت المرحلة الأولى للعالم قد اختيرت بكل عناية ممكنة لبلوغ ما نراه حولنا، فإن حظوظ العالم في احتواء منطقة صالحة لظهور الحياة تكون قليلة. وفي نموذج الانفجار الأعظم الساخن الذي شرحناه لم يكن العالم الأولي يملك من الوقت ما يكفي لسريان الحرارة من منطقة لأخرى. وهذا يعني وجوب أن تكون مناطق العالم كلها، في مرحلته البدئية، ذات سخونة واحدة كي نستطيع تفسير واقع أن الإشعاع السنتيمتري لصفحة السماء ذو درجة حرارة واحدة في كل

الاتجاهات. كما أن معدل التوسع البدئي يجب أن يكون قد اختير بكل دقة كي يكون قريباً قرباً كافياً من القيمة الحرجة اللازمة لتفادي أي ارتصاص. وهذا يعني، إذا كان نموذج الانفجار الأعظم صحيحاً، أن تكون حالة العالم قد اختيرت بكل حيطة على مر الزمن منذ البدء. وبذلك يكون من الصعب فهم لماذا لم يبدأ العالم إلا بهذا الأسلوب، اللهمَّ إلا أن يكون من صنع إله راغب في خلق أُناس مثلنا.

وفي سبيل إيجاد نموذج للعالم تطورت فيه عدة تشكيلات بدئية متخالفة حتى انتهت إلى عالم كعالمنا الحالي اقترح غوث A.Guth، من معهد ماساشوستس التقني، فكرة أن العالم ربما كان قد مرَّ بطور توسع سريع جداً، يدعى توسعاً انتفاخياً inflationist متفاقماً؛ مما يعني أن العالم كان ذات يوم يتوسع بمعدل متزايد، بدل أن يكون متناقصاً كما هو اليوم. ويرى غوث أن نصف قطر العالم قد تزايد ألف مليار مليار مليار مرة (واحد متبوع بـ ٣٠ صفراً) في أثناء جزء زهيد من الثانية.

يقول غوث بأن العالم انبثق من الانفجار الأعظم في حالة ساخنة جداً لكنها أقرب إلى الفوضوية. وفي هذه الدرجة من الحرارة تحركت مكنوناته بسرعة كبيرة جداً وطاقة عالية. وقد ذكرنا أننا يجب أن نتوقع في تلك السخونة المفرطة أن تتوحد في قوة واحدة القوتان النوويتان: الشديدة والضعيفة، والقوة الكهرطيسية. ومع تزايد التوسع يبرد العالم وتنخفض طاقات جسيماته. وفي النهاية بلغ ما يسمى انتقالاً طورياً وانكسر التناظر فيما بين القوى، أي أن القوة الشديدة أصبحت مختلفة عن القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية. وكمثال شائع على الانتقال الطوري نذكر انجماد الماء لدى تبريده. فالماء السائل تناظري في كل نقاطه وفي كل الاتجاهات، لكن بلورات الجليد تأخذ، عندما تتشكل، أوضاعاً هندسية معينة وتصطف في اتجاه معين، وهذا ما يكسر تناظر الماء.

إذا اتخذنا الاحتياطات اللازمة نستطيع تبريد الماء إلى ما تحت درجة انجماده (الصفر المئوي) دون أن يظهر الجليد. ويقترح غوث فكرة أن يكون العالم قد تصرف بما يشبه ذلك: أي أن حرارته قد هبطت إلى درجة أخفض من القيمة الحرجة دون أن ينكسر تناظر القوى. فإذا كان هذا هو الذي حدث فإن العالم يكون قد مر بحالة قلقة ذات طاقة أعلى مما يبيحه

انكسار التناظر. وهذه الطاقة الفائضة يمكن أن تتجلى في شكل ثقالة مضادة: أي ثقالة تعمل بالضبط على شاكلة ما تفعله الثابتة الكونية التي أدخلها أينشتاين ليصنع عالماً سكونياً. ولما كان العالم قد توسع في أثناء ذلك كما يريد نموذج الانفجار الأعظم الساخن بالضبط فإن التأثير التنافري لهذه الثابتة الكونية دعاه إذن إلى التوسع بمعدل متفاقم. وحتى في المناطق التي كانت تحوي من الجسيمات المادية عدداً أكبر من الوسطي كان التجاذب الثقالي للمادة قد قاومه وأعدمه التنافر الناجم عن الثابتة الكونية الفعلية. كان إذن لا بد لهذه المناطق من أن تتوسع متسارعة في انتفاخ تفاقمي. وبسبب هذا التمدد وتزايد ابتعاد الجسيمات بعضاً عن بعض نظل حيال عالم يتوسع بكثافة جسيمية قليلة وما زال في حالة برودة مفرطة. وبذلك سوِّيت كل الشذوذات المحلية في العالم بكل بساطة بفعل التوسع، كزوال التجعدات من سطح نفاخة مطاطية عندما ننفخ فيها. وبذلك تكون حالة العالم الحالي، الملساء النسيقة، قد حصلت بعد تطور انطلق من حالات متخالفة أولية غير نسيقة.

وفي مثل هذا العالم، الذي تسارع فيه التوسع بفعل ثابتة كونية بدل أن يتباطأ بفعل التجاذب الثقالي، توفر للضوء الوقت الكافي كي يذهب من منطقة لأخرى من العالم البدائي. وفي هذا يكمن الجواب عن السؤال المطروح أعلاه: كيف تيسر لشتى مناطق العالم أن يكون لها خصائص واحدة؟ وبالإضافة لذلك صار معدل التوسع، تلقائياً، قريباً جداً من المعدل الحرج الذي تعينه كثافة العالم. وهذا ما يمكن أن يفسر إذن سبب بقاء معدل التوسع قريباً، لهذه الدرجة، من القيمة الحرجة دون حاجة إلى القول بأن المعدل البدئي لتوسع الكون قد اختير بعناية وحيطة.

إن فكرة الانتفاخ المتفاقم يمكن أن تفسر أيضاً هذا الفائض الكبير من المادة في العالم. إن منطقة العالم التي نستطيع رصدها تحوي من الجسيمات عدداً يتمثل بزهاء واحد متبوع على يمينه بثمانين صفراً. فمن أين أتت هذه الجسيمات كلها؟ يقول ميكانيك الكم بأن الجسيمات يمكن أن تُخلق من الطاقة على شكل أزواج جسيمات / جسيمات مضادة. لكن هذا يطرح السؤال عن مصدر الطاقة. والجواب هو أن طاقة العالم الكلية تساوي الصفر بالضبط. فقد تبين أن المادة في العالم مصنوعة من طاقة موجبة. لكن المادة تتجاذب فيما بينها بالتثاقل. ومعلوم أن كل قطعتين ماديتين متجاورتين تمتلكان من الطاقة مقداراً أقل مما

تمتلكانه لو كانتا مفصولتين بمسافة كبيرة ، لأن عليك كي تفصلهما أن تصرف طاقة للتغلب على قوة التثاقل التي تسعى إلى تقريب إحداهما من الأخرى . فحقل التثاقل له إذن ، بمعنى ما ، طاقة سالبة . وفي حال هذا العالم ، النسيق تقريباً في الفضاء ، يمكن أن نبرهن على أن هذه الطاقة التثاقلية السالبة تساوي بالضبط الطاقة الموجبة المتجسدة بشكل مادة ، مما يجعل مجموعهما معدوماً . أي أن طاقة العالم الكلية تساوي الصفر .

إن مجموع صفرين يساوي صفراً في كل الأحوال . وبذلك ليس ممنوعاً على العالم أن يضاعف كمية طاقته الموجبة ، المتجسدة بالمادة ، مرتين إذا ضاعف مرتين أيضاً كمية طاقته التثاقلية السالبة دون أن يخرق مبدأ انحفاظ الطاقة . وهذا شيء لا يحدث للعالم في توسعه العادي الذي تتناقص في أثنائه كثافة الطاقة المادية مع تزايد حجم الفضاء الذي يحتله العالم . لكن ذلك يحدث في الانتفاخ المتفاقم لأن كثافة الطاقة في المرحلة التي يكون فيها العالم أبرد مما يجب تظل ثابتة في أثناء توسعه : ذلك أن تضاعف حجم العالم يصاحبه عندئذ تضاعف الطاقة المادية الموجبة والطاقة التثاقلية السالبة ، مما يحفظ للطاقة الكلية قيمتها المعدومة . وفي هذا الطور الانتفاخي يزيد العالم كثيراً في حجمه ؛ وبذلك تزداد كثيراً جداً كمية الطاقة الكلية الجاهزة لتوليد جسيمات إضافية . وعلى هذا يقال ، حسب رأي غوث : « لا شيء ألذّ من غداء مجاني . لكن العالم هو الغداء المجاني الأصلي » .

إن توسع العالم اليوم ليس انتفاخياً . وعلى هذا لا بد أن يكون قد حدث أمر ألغى الثابتة الكونية الفعلية الكبيرة جداً وغيَّر معدل التوسع من المتسارع الذي كانه إلى هذا المعدل الذي أبطأته الثقالة التي نعرفها اليوم . إن لنا الحق في أن نتوقع من التوسع الانتفاخي أن ينتهي إلى كسر التناظر بين القوى ، تماماً كما ينتهي إلى التجمد الماءُ الذي ظل سائلاً رغم تبريده إلى ما دون الصفر المئوي . وعندئذ تتحرر الطاقة التي كانت كامنة في حالة التناظر قبل أن ينكسر وتستطيع أن تُسهم في تسخين العالم إلى درجة حرارة لا تقل إلا قليلاً عن درجة الحرارة الحرجة لتناظر القوى . عندئذ يأخذ العالم بالتمدد والتبرد كما يشتهي نموذج الانفجار الأعظم الساخن بالضبط ؛ لكننا الآن حصلنا على تفسير لتوسع العالم بالمعدل الحرج المطلوب ولوجود شتى مناطقه في درجة حرارة واحدة .

لقد كان اقتراح غوث الأصلي يفترض أن الانتقال الطوري قد حدث فجأة على غرار ظهور بلورات من الجليد في الماء البارد جداً. كانت الفكرة تقول بأن «فقاعات» الطور الجديد، طور التناظر المكسور، قد تشكلت في الطور السالف، كما تتشكل فقاعات البخار ضمن الماء الذي يغلي. والمفترض في هذه الفقاعات أن تتمدد وتنضم بعضاً مع بعض إلى أن يصبح العالم كله في الطور الجديد. لكن المزعج، الذي لفت النظر إليه عدة أناس وأنا منهم، هو أن العالم كان سيتوسع بسرعة كبيرة لدرجة تجعل الفقاعات تتباعد فيما بينها بما يحول دون تلاقيها، ولو كانت تنتفخ بسرعة الضوء. وعندئذ كان العالم سيجد نفسه في حالة غير نسيقة ومنطوية حتى اليوم على مناطق ذات تناظر بين مختلف القوى. ومثل هذا النموذج لا يتفق مع ما نراه.

في تشرين الأول/اكتوبر، من عام ١٩٨١، ألقيت في موسكو محاضرة عن الثقالة الكمومية. وبعد ذلك جمعت، في معهد ستيرنبرغ الفلكي، ندوة حول نموذج الانتفاخ المتفاقم ومشكلاته. طلبت في بادئ الأمر من شخص آخر أن يتكلم باسمي لأن صوتي لم يكن مفهوماً دوماً. لكن الوقت لم يكن كافياً لإعداد ذلك كله. فاضطررت إلى أن أتحدث بنفسي وبوجود أحد طلابي المجازين ليكرر كلامي. وقد سارت الأمور على ما يرام، لكنها كانت مناسبة لاتصالات عديدة بجمهور السامعين؛ وكان من بينهم شاب سوفييتي اسمه اندره لِند Linde من مؤسسة ليبيديف في موسكو، لفت نظري إلى أن صعوبة الفقاعات التي لا تتلاقى يمكن إهمالها إذا اعتبرنا أن الفقاعات كبيرة لدرجة أن تحوي واحدة منها منطقة عالمنا كلها. ولكي يصح ذلك كان يمكن للتناظر أن يتحول ببطء شديد إلى تناظر مكسور ضمن الفقاعة؛ وذلك ممكن تماماً في إطار نظريات التوحيد الكبير. كانت فكرة لِند في الانكسار البطيء للتناظر ممتازة، لكنني أدركتُ فيما بعد أن كل الفقاعات يجب أن تكون عندئذ أكبر بكثير من العالم كله! وبدلاً من ذلك برهنتُ على أن التناظر يجب أن ينكسر في وقت واحد في كل مكان لا في داخل الفقاعات فحسب. وكان هذا ليقود إلى عالم نسيق كالذي نراه. لقد تحمستُ لهذه الفكرة كثيراً وناقشتها مع أحد تلاميذي، إيان موس Moss. ورغم الصداقة التي قامت بيني وبين لند شعرت بالحرج عندما أرسلت إليَّ إحدى المجلات العلمية مقالته لتسألني الرأي في نشرها. فكتبت لها جواباً أذكر فيه محذور الفقاعات بأنها يجب أن تكون

أكبر من العالم، ولكني أضفت أن فكرة الانكسار البطيء للتناظر جيدة جداً. وأوصيت بنشر المقالة كما هي، لأن تعديلها كان سيتطلب من لند عدة شهور بسبب ما كانت تفرضه، على كل ما يُرسَل إلى الغرب من مقالات علمية، رقابة سوفييتية لم تكن قط حكيمة ولا سريعة. ولسد هذه الثغرة نشرتُ في المجلة نفسها مع موس مقالة قصيرة أبرزنا فيها هذه المشكلة وشرحنا كيفية حلها.

ذهبت، صباح اليوم الذي تلا عودتي من موسكو إلى فيلادلفيا، لأستلم ميدالية معهد فرانكلين. كانت سكرتيرتي، جودي فيلا، قد استخدمت سحرها، وهو غير قليل، لإقناع شركة الطيران البريطانية بأن تمنحنا مجاناً على سبيل الدعاية لنفسها بطاقتين على طائرة الكونكورد. لكن المطر المدرار الذي انهمر علينا، ونحن في طريقنا إلى المطار، حال دون اللحاق بالطائرة. لكننا بعد لأي شديد نجحنا في الوصول إلى فيلادلفيا واستلمت ميداليتي. وهناك طُلب مني أن أعقد في جامعة دريكسيل ندوة حول العالم الانتفاخي. فألقيت ثانية محاضرة موسكو.

وبعد بضعة شهور قدم شتاينهارت P.Steinhardt وألبرشت A.Albercht، من جامعة بنسلفانيا، فكرة تشبه فكرة لند بصورة مستقلة عنه. واليوم يُنسب إليهما وإلى لند معهما ما يسمى بـ«النموذج الانتفاخي الجديد» المعتمد على فكرة الانكسار البطيء للتناظر (كان النموذج الانتفاخي القديم اقتراح غوث الأصلي في تناظر ينكسر سريعاً ومصحوباً بتشكل فقاعات).

كان النموذج الانتفاخي الجديد يُعدُّ محاولة جيدة لتفسير كون العالم كما هو اليوم. لكن عدة أناس، وأنا منهم، قد برهنوا على أنه، في صيغته الأولية على الأقل، يتنبأ بتغير حراري أكبر بكثير جداً من الإشعاع السنتيمتري الذي نلحظه في الواقع من صفحة السماء. كما أن أعمالاً لاحقة ظهرت فألقت ظلاً من الشك على حدوث الانتقال الطوري الذي يتطلبه النموذج الانتفاخي من العالم في أوائل بدئه. وأنا أرى اليوم أن النموذج الانتفاخي الجديد لم يعد له وجود كنظرية علمية، رغم أن كثيرين لا يبدو عليهم أنهم سمعوا بنزوله عن عرشه وما زالوا يكتبون عنه مقالات وكأنه ما يزال في مرتبة الشرف. وأحسن من هذا السلف نموذج انتفاخي

فوضوي قدمه لند عام ١٩٨٣ . ليس في هذا النموذج انتفاخ ولا انتقال طوري ولا تأخر عن التجمد بل فيه، بدلاً من ذلك، حقل سبينه صفر ويمكن أن يأخذ، بسبب التفاوتات الكمومية، قيماً عالية في بعض مناطق العالم البدئي. وطاقة حقل هذه المناطق تتصرف تصرف الثابتة الكونية، أي أنها ذات مفعول ثقالي تنافري يتيح لهذه المناطق أن تتمدد بأسلوب انتفاخي ــ وفي أثناء استمرار هذا التوسع تتناقص طاقة حقلها ببطء إلى أن يتحول التوسع الانتفاخي إلى توسع يشبه ما يحصل في نموذج الانفجار الأعظم الساخن. وقد تسنى لإحدى هذه المناطق أن تصبح ما نراه اليوم، أي عالمنا هذا. إن هذا النموذج يتمتع بمزايا النماذج الانتفاخية السابقة كلها، لكنه غني عن الانتقال الطوري ويَهَب التفاوتات الحرارية لإشعاع صفحة السماء السنتيمتري قيمة معقولة تتفق مع نتائج الرصد.

إن هذا العمل، في النماذج الانتفاخية، أثبت أن حالة العالم الحالية استطاعت أن تتولد انطلاقاً من عدد كبير من تشكيلات بدئية متخالفة. وهذا مهم لأنه يبين أن الحالة البدئية للجزء الذي نسكنه من العالم لم تكن بحاجة لأن تُختار بعناية. وكذلك نستطيع، إذا شئنا، أن نستخدم المبدأ البشري الضعيف لتفسير كون العالم على ما هو عليه اليوم. ومع ذلك لا يمكن أن نقبل بأن أي تشكيل بدئي، **مهما كان**، استطاع أن يقود إلى عالم كهذا الذي نشاهده. وبرهان ذلك يتضح من فحص حالة للعالم تختلف اليوم جداً عن حالته الحاضرة، ولنقل عالماً غير نسيق وتتوزع فيه بشكل عشوائي حبّات كبيرة (كالخثرات الموزعة في حساء رديء الإعداد). تستطيعون استخدام قوانين الفيزياء لتجعلوا هذا العالم يصعد سلم الزمن نحو الماضي كي تعينوا التشكيل الذي كان له في بداياته. تقول نظريات المتفرد في النسبية العامة اللاكمومية بأنه يحوي أيضاً متفرداً من نوع الانفجار الأعظم. ثم لو جعلتم مثل هذا العالم يتطور خلال زمن طويل وفق القوانين التي نعرفها فستحصلون على عالم لا يختلف في غزارة حبّاته وعدم انتظامه عن العالم الذي انطلقتم منه. وعلى هذا يجب أن يكون قد حصلت تشكيلات بدئية لم تسفر اليوم عن عالم كالذي نشاهده. لكن النموذج الانتفاخي، حتى هو، لا يقول لنا كيف لم يكن التشكيل البدئي ذا طبيعة تقود إلى شيء يختلف تماماً عما نراه. فهل يجب علينا أن نعتمد من جديد المبدأ البشري تفسيراً لما حدث؟

أم أن كل هذا ليس سوى مصادفة سعيدة؟ إن هذا يشبه اعترافاً بالقنوط، أي ضياع كل أمل في فهم ما حدث في أساس عالمنا من أمور.

فلكي نتنبأ كيف يتيسر للعالم أن يبدأ لا بد لنا من قوانين تكون صامدة صلدة في بدء الزمن. وإذا كانت النسبية العامة صحيحة فإن نظريات المتفرد التي فصَّلتها بالاشتراك مع بنروز تُظهر أن بدء الزمن كان حتماً نقطة ذات كثافة لا نهائية وانحناء زمكاني لا نهائي. لكن كل القوانين الفيزيائية التي نعرفها غير صحيحة في مثل تلك النقطة. ولئن كان باستطاعتنا اختراع قوانين صحيحة في المتفردات إلا أن من الصعب جداً أن نصوغها في نقاط على هذه الدرجة من الشذوذ. كما أننا لا نملك أي دليل رصدي يمكن أن يهدينا لمعرفة سماتها. لكن ما تقوله نظريات المتفرد في واقع الأمر هو أن الحقل الثقالي يصبح شديداً لدرجةٍ تلعب فيها المفعولات الثقالية الكمومية دوراً مهماً، أي أن النظرية التقليدية تصبح عديمة الجدوى في توصيف العالم توصيفاً صادقاً. وعلى هذا لا بد من استخدام النظرية الكمومية في الثقالة لمناقشة الحالات البدئية الأولى للعالم. وليس من المستبعد، كما سنرى، أن تظل قوانين الفيزياء في النظرية الكمومية صحيحة في كل حال، ولو في بدء الزمن: أي أننا لن نحتاج إلى افتراض قوانين جديدة للمتفردات لأن الحاجة للمتفرد معدومة في النظرية الكمومية.

إننا لا نملك حتى الآن نظرية ناجزة ومنطقية تجمع ميكانيك الكم والثقالة معاً. لكننا على شبه يقين عملياً من أننا نعرف بعضاً من الخصائص التي يجب أن تتمتع بها نظرية من هذا القبيل. منها وجوب أن تستجيب لاقتراح فاينمان بإمكانية صوغ النظرية بلغة تكامل الطرق. فمن هذه الزاوية لا يكون للجسيم مسار واحد وحيد، وذلك بخلاف ما تقول به النظرية التقليدية، بل يُفترض على عكس ذلك، أن الجسيم يسلك كل الطرق الزمكانية المتاحة، وأن كل واحد من هذه الطرق يواكبه زوجان عدديان يمثل أحدهما سعة الموجة ويمثل الآخر موقعه (أي طوره) في حلقة الدور. ونحصل مثلاً على احتمال مرور الجسيم بنقاط معينة من جمع كل الموجات المواكبة لكل المسارات المتاحة المارة بتلك النقاط. لكننا عندما نحاول إجراء هذا الجمع التكاملي نصطدم بعقبات فنية كأداء. فطريقة العمل تقتضي أن نجمع موجات مسارات جسيمية لا تحدث في الزمن «الحقيقي» الذي نتعامل كلنا معه، بل فيما نسميه زمناً «تخيلياً». ولئن كان هذا الزمن التخيلي يبدو من قبيل الوهم إلا أنه فكرة رياضية

معينة تماماً. فلو أخذنا أي عدد عادي (أو «حقيقي») وضربناه بنفسه، فإن النتيجة تكون عدداً موجباً [لدينا مثلاً ٢ × ٢ = ٤، لكن لدينا أيضاً (– ٢) × (– ٢) = ٤]. لكن في الرياضيات أيضاً أعداداً خاصة (تدعى تخيلية) تعطي أعداداً سالبة لدى ضربها بنفسها؛ (فالعدد المعروف بالرمز ت يعطي – ١ لدى ضربه بنفسه. كما أن ضرب العدد ٢ ت بنفسه يعطي – ٤، وهكذا...) وللالتفاف على الصعوبات الفنية في حساب تكامل الطرق علينا أن نلجأ للزمن التخيلي. وهذا يعود إلى القول بأن إجراء الحساب يقتضي قياس الزمن بأعداد تخيلية بدلاً من أعداد حقيقية. ولهذه العملية انعكاس طريف على الزمكان. ففيه يختفي الفرق بين الماضي والمستقبل كلياً. ويقال عن الزمكان الذي تتخذ فيه الحوادث إحداثيات زمنية تخيلية إنه إقليدي، نسبة إلى إقليدس، ذلك العالم الإغريقي الذي وضع في قديم الزمان أسس دراسة الهندسة في سطوح ذات بعدين. وإن ما نسميه اليوم زمكاناً إقليدياً هو شيء قريب جداً من ذلك، سوى أننا نستخدم هنا أربعة أبعاد بدلاً من اثنين. ففي الفضاء الزمكاني الإقليدي لا فرق إذن بين البعد الزمني وبين أي بعد مكاني. وبخلاف الزمكان الحقيقي، الذي تتميز فيه الأحداث بأعداد عادية (حقيقية) هي الإحداثيات الزمنية، نستطيع أن نرى الفرق بسهولة. إن منحى الزمن في أية نقطة واقع ضمن مخروط الضوء، أما المنحى المكاني فيقع خارجه. فنحن إذن، في كل الأحوال وفيما يخص ميكانيك الكم، نستطيع الاعتماد على استخدام الزمن التخيلي والزمكان الإقليدي كوسيلة (حيلة) رياضية بسيطة للوصول إلى أجوبة بخصوص الزمكان الحقيقي.

والخاصية الثانية، التي نعتقد أن على النظرية المطلوبة أن تتمتع بها، هي فكرة أينشتاين بخصوص تمثيل الحقل الثقالي بزمكان مُنحنٍ، أي أن الجسيمات تسعى إلى سلوك مسارات أشبه ما يكون بالخطوط المستقيمة في فضاء منحنٍ؛ وبما أن الزمكان ليس منبسطاً فإن هذه المسارات تبدو لنا وكأن حقلاً ثقالياً يحنيها. وعندما نطبق طريقة فاينمان في تكامل الطرق نرى أن مسار الجسيم فيها يقابله، في النظرية المطلوبة، زمكان منحنٍ تام هو مسار العالم كله. ولتحاشي الصعوبات الفنية في عملية التكامل يجب أن تُختار هذه الزمكانات المنحنية بحيث تكون إقليدية ذات زمن تخيلي لا يتميز منحاه عن إحداثيات المكان. ولحساب احتمال حصول

زمكان حقيقي، ذي خاصية يبدو معها مماثلاً لنفسه في كل النقاط وكل الاتجاهات، نجمع الموجات المواكبة لكل المسارات التي تنطوي على هذه الميزة.

وفي نظرية النسبية العامة التقليدية (أي غير الكمومية) يوجد عدة زمكانات مختلفة منحنية ممكنة يتعلق كل منها بحالة بدئية مختلفة للعالم. وعندما نعلم الحالة البدئية لعالمنا نستنبط كل تاريخه. ويوجد أيضاً، في أية نظرية ثقالية كمومية، عدة حالات مختلفة كمومية ممكنة للعالم. وهنا أيضاً نستطيع معرفة الحالة الكمومية للعالم إذا علمنا كيف تصرفت، في المراحل الزمنية المبكرة، الزمكانات المنحنية الممكنة في عملية تكامل الطرق.

وفي النظرية التقليدية للثقالة، التي تعتمد على الزمكان الحقيقي، لا يمكن للعالم أن يتصرف إلا بأحد أسلوبين: أما أن يكون قد وُجد منذ الأزل اللانهائي، وأما أن يكون قد بدأ انطلاقاً من متفرد في لحظة معينةمن الماضي. أما في نظرية الثقالة الكمومية فيوجد إمكانية ثالثة. ذلك أن استخدام زمكانات إقليدية، لا يختلف فيها الإحداثي الزمني نوعياً عن الإحداثيات المكانية، يتيح للزمكان أن يكون محدوداً في اتساعه وأن يستغني مع ذلك عن أي متفرد يكون بمنزلة حد طرفي له. فهذا الزمكان يشبه سطح الأرض، سوى أنه يضم بُعدين إضافيين، وسطح الأرض محدود الاتساع دون أن يكون له حدود أو حافة. فأنت لو جريت باتجاه الشمس الغاربة لن تسقط من أية حافة مهما طال بك الجري ولن تهوي في أي متفرد (أنا أعرف ذلك وقد قمت بدورة كاملة حول الأرض!).

وسواء كان الزمكان الإقليدي يمتد منكفئاً على طول زمان تخيلي لا نهائي، أو كان قد بدأ من متفرد في زمان تخيلي، فإننا نبقى، كما في النظرية التقليدية، أمام مسألة تعيين حالة العالم البدئية: إن الله يعلم حتماً كيف بدأ العالم، لكننا لا نستطيع أن نذكر أي سبب خاص يحملنا على الاعتقاد بأفضلية هذا الأسلوب البدئي على ذاك. وفي مقابل ذلك تفتح نظرية الثقالة الكمومية طريقاً آخر ليس للزمكان فيه حدود ولا حافة؛ وعلى ذلك تنتفي الحاجة إلى تعيين سلوكه عند هذه الحافة. فلا حاجة لمتفرد تصبح فيه قوانين الفيزياء باطلة ولا حاجة لحافة زمكانية تستدعي إلّهاً أو قوانين جديدة. مما يمكن معه أن نقول «إن الظرف الحدي للعالم هو أن العالم غير ذي حدود». العالم ينطوي على ذاته بتمامه ولا يتأثر بأي شيء خارج

عن نطاقه. فهو إذن لا يمكن أن يكون قد خُلق أو سُحق، إنه لا يملك إلا أن [يكون].

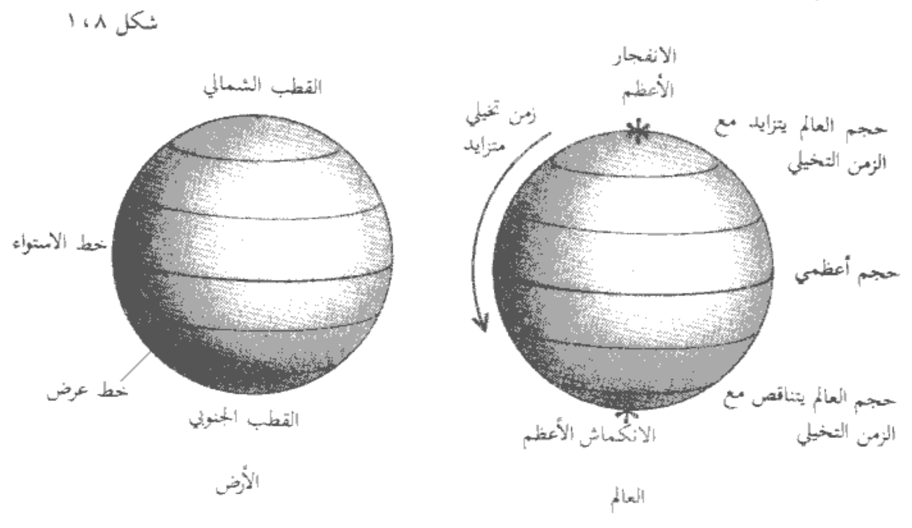
كانت ندوة الفاتيكان، التي ذكرتها فيما سبق، أول مناسبة عرضت فيها اقتراحي بأن المكان والزمان ربما كانا يشكلان سطحاً محدود الاتساع لكنه غير ذي حدود ولا حافة. كانت مقالتي تحوي قدراً كافياً من الرياضيات مما جعل مضمونها بخصوص الدور الرباني غير ملحوظ عموماً آنئذ (لحسن حظي). ولم أكن أعرف في تلك المحاضرة كيفية استخدام فكرة «دون حافة» لاستنباط نبوءات تخص العالم. لكنني قضيت الصيف التالي في جامعة كاليفورنيا. وهناك التقيت صديقي وزميلي جيم هارتل، فعمل معي في موضوع الشروط التي كان على العالم أن يحققها كي لا يكون الزمكان ذا حدود. وبعد عودتي إلى كمبردج استأنفت العمل مع اثنين من تلاميذي الباحثين، جوليان لوتريل وجوناثان هاليويل.

أود أن أُلحّ هنا على أن فكرة وجوب كون المكان والزمان محدودين ودون حافة لم تكن أكثر من محض اقتراح، أي لا يمكن استنتاجها من أي مبدأ. وعلى شاكلة سواها من النظريات العلمية لم يكن لها في أول الأمر ما يبررها سوى أسباب جمالية أو غيبية. لكن الهدف الحقيقي منها هو أن تقدم نبوءات تنسجم مع الأرصاد. بيد أن التأكد من ذلك صعب في حالة الثقالة الكمومية لسببين: أولهما، وهو ما سنشرحه في الفصل القادم، يعود إلى أننا لا نعلم بعدُ بالضبط النظرية التي توفق بين النسبية العامة وميكانيك الكم، رغم معرفتنا بالسمات الأولية التي يجب أن تتمتع بها، وثانيهما يعود إلى الاعتقاد بأن النموذج الذي يصف العالم بالتفصيل لا بد أن يكون، على صعيد الرياضيات، أعقد من أن نستطيع بوساطته تقديم نبوءات دقيقة. فلا خيار لنا، والحالة هذه، سوى أن نلجأ إلى الافتراضات والتقريبات ـــ وحتى في هذه الحالة تظل مسألة صوغ النبوءات عملية شاقة.

يجب على كل مسار من تكامل الطرق أن ينطوي، لا على أوصاف الزمكان فحسب، بل وعلى أوصاف كل محتوياته، بما فيها العضويات المعقدة كالكائنات البشرية القادرة على رصد تاريخ العالم. وقد يكون في ذلك مبرر آخر للمبدأ البشري، إذ لو كانت كل المسارات ممكنة حقاً طوال وجودنا في واحد منها لكان واجباً علينا أن نستخدم المبدأ البشري لشرح سبب كون العالم بشكله الحاضر. لكننا لا نرى بوضوح المدلول الذي يجب أن نعطيه للمسارات الأخرى التي نحن غير موجودين فيها. ومع ذلك فإن هذا الرأي في نظرية الثقالة

الكمومية يصبح أكثر قبولاً بكثير لو استطعنا ، لدى إجراء عملية تكامل الطرق ، أن نبرهن على أن عالمنا هو من أكثر المسارات المتاحة احتمالاً ، لا مجرد واحد من المسارات المحتملة . ولبلوغ هذا الهدف يجب أن ننجح في حساب تكامل كل المسارات في الزمكانات الإقليدية غير المحدودة .

شكل ٨ ، ١



وفي فرضية « دون حافة » نجد أن الصدفة مهملة لنشوء عالم صيغ كي يسلك معظم المسارات الممكنة ؛ لكن هناك طائفة خاصة من مسارات أكثر احتمالاً بكثير من سواها . وهذه المسارات يمكن أن نتمثلها وكأنها سطح الأرض ، وأن البعد عن القطب الشمالي يمثل الزمن التخيلي ، وأن كبر الدائرة المتساوية البعد عن القطب الشمالي يمثل الامتداد المكاني للعالم . فالعالم يبدأ من القطب الشمالي كنقطة مفردة . ومع التحرك نحو الجنوب تتوسع دوائر خطوط العرض ، وهذا يقابل عالماً يتوسع مع الزمن التخيلي (شكل ٨ ، ١) . ويبلغ العالم حجمه الأعظم عند خط الاستواء ثم يتقلص بتزايد الزمن التخيلي إلى أن يبلغ نقطة مفردة في القطب الجنوبي . ورغم أن العالم يمكن أن يبلغ حجماً معدوماً في القطبين ، الشمالي والجنوبي ، فإن هذا لا يعني بالضرورة أننا أمام متفردين ، فقطبا الأرض ليسا متفردين . وكذلك تظل قوانين الفيزياء صحيحة عند النقطتين المفردتين كما تظل صحيحة عند قطبي الأرض .

لكن مسار (تاريخ) العالم في الزمن الحقيقي يبدو مخالفاً لذلك جداً . فمنذ زهاء عشرة

مليارات عام أو عشرين، كان للعالم حجم أصغري يساوي أعظم نصف قطر في تاريخ الزمن التخيلي. وفي أزمنة حقيقية لاحقة تمدد العالم وفق النموذج الانتفاخي الفوضوي الذي اقترحه لند (لكن يجب أن لا نؤكد الآن أن العالم قد خُلق بالاتجاه الحسن). ويتمدد العالم حتى يبلغ حجماً كبيراً جداً. وفي النهاية يتهافت نحو ما يشبه متفرداً في الزمان. فنحن إذن محكوم علينا هنا أيضاً ولو لم نقترب من ثقوب سوداء. وهكذا نرى أننا، إذا أردنا استبعاد المتفردات، لا نملك من وسيلة لوصف العالم إلا بلغة الزمن التخيلي.

إذا كان العالم قد وُجد حقاً في هذه الحالة الكمومية فلا سبيل لوجود متفرد في طريق زمانه التخيلي. وهكذا يبدو إذن أن عملي الأحدث قد ألغى كل ما خلصتُ إليه من عملي الأسبق على المتفردات. لكن الأهمية الحقيقية لنظريات المتفرد تتمثل، كما ذكرت سابقاً، في البرهان على أن الحقل الثقالي يمكن أن يصبح شديداً لدرجة لا يمكن معها إهمال المفعولات الثقالية الكمومية. وهذا بدوره يقود إلى فكرة أن العالم يجب أن يكون محدوداً في زمن تخيلي غير ذي حافة ولا متفرد. ومع ذلك، عندما نعود إلى الزمن الحقيقي الذي نعيش فيه، تظهر المتفردات من جديد. فالفلكي المسكين الذي يسقط في ثقب أسود سيلقى نهاية محفوفة بالأخطار، إذ لا يستطيع أن يتحاشى لقاء المتفرد إلا إذا عاش في زمن تخيلي.

قد يجد المرء نفسه محمولاً على الظن بأن ما نسميه زمناً تخيلياً هو في الواقع الزمن الحق، وأن ما نسميه زمناً حقيقياً ليس إلا صورة في ذهننا. لكن العالم في الزمن الحقيقي له بدء وله نهاية في متفردات تشكل حدوداً للزمكان وفيها تذوب القوانين. في حين أن الزمن التخيلي ليس فيه متفرد وليس له حافة. وعلى هذا ربما كان ما نسميه زمناً تخيلياً أكثر، في واقع الأمر، أساسيةً من الآخر بكثير، وربما كان ما نسميه زمناً حقيقياً مجرد فكرة اخترعناها لتساعدنا في وصف ما نعتقد أنه يشبه العالم. لكن النظرية العلمية بحد ذاتها ليست، بموجب طبائعها التي ذكرناها في الفصل الأول، سوى نموذج رياضي نصنعه كي نشرح مواصفات أرصادنا: فليس لها وجود إلا في أذهاننا. ولا مجال لأن نتساءل أيهما حقيقي حقاً: الزمن «الحقيقي» أم الزمن «التخيلي»؟ فكلمة «الزمن» تخلص لغوي لتيسير الشرح.

يمكن أيضاً استخدام تكامل الطرق واقتراح «دون حافة» معاً لإيجاد خواص العالم التي

لها حظ في الظهور معاً . نستطيع مثلاً حساب احتمال أن يتوسع العالم بمعدل واحد في كل الاتجاهات عندما تبلغ كثافته قيمتها الحالية . وقد تبين ، في النماذج المبسطة التي دُرس فيها هذا الأمر بعمق ، أن هذا الاحتمال كبير ، أي أن فكرة « دون حافة » تقود إلى التنبؤ بأن من الراجح جداً أن يكون معدل التوسع الحالي للعالم واحداً تقريباً في كل الاتجاهات . وهذا ينسجم مع أرصاد الإشعاع السنتيمتري القادم من أعماق السماء ، التي تُظهر أن هذا الإشعاع يكاد يكون متساوي الشدة بالضبط من كل الاتجاهات . ولو كان توسع العالم في بعض الاتجاهات أسرع منه في بعضها الآخر لكانت شدة الإشعاع في تلك الاتجاهات أضعف ، بسبب انزياح إضافي نحو الأحمر .

وتجري الآن دراسة ما يقود إليه الشرط « دون حافة » من تنبؤات أخرى . فمن جملة المسائل ذات الأهمية الخاصة مسألة الشذوذات في الكثافة النسيقة للعالم البدائي ، تلك الشذوذات التي سببت تشكل المجرات أولاً ، ثم تشكل النجوم وفي النهاية شمسنا . إن مبدأ الارتياب يتضمن أن العالم البدائي لا يمكن أن يكون نسيقاً تماماً ، وذلك بسبب وجود بعض الارتيابات ، أي التفاوتات ، في مواقع الجسيمات وسرعاتها . ولدى استعمال الشرط « دون حافة » نجد أن العالم يجب أن يكون قد بدأ وفيه أصغر خلل ممكن يبيحه مبدأ الارتياب . وبذلك يكون العالم قد عاش فترة توسع سريع ، كما في النماذج الانتفاخية . وفي أثناء هذه الفترة تفاقمت هذه الاختلالات البدئية إلى أن بلغت من الضخامة ما يكفي لتفسير أصل البنى التي نشاهدها من حولنا . وفي عالم متوسع ذي كثافة مادية متفاوتة قليلاً من موقع لآخر ، يمكن للثقالة أن تكون سبباً في إبطاء توسع المناطق الأكثف وفي بدء ارتصاصها ... وهذا ما يُسفر عن تشكل المجرات والنجوم وحتى المخلوقات التافهة التي نحن منها . وبهذه الصورة يمكن للبنى المعقدة التي نكتشفها في هذا العالم أن تتفسر بالشرط « دون حافة » مع مبدأ الارتياب الكمومي .

إن فكرة أن يشكل المكان والزمان سطحاً مغلقاً دون حافة تنطوي أيضاً على مكنونات عميقة فيما يخص الدور الرباني في شؤون العالم . فمن نجاح النظريات العلمية في توصيف الأحداث توصل معظم الناس إلى الاعتقاد بأن الله يبيح للعالم أن يتطور وفق مجموعة قوانين ودون أن يتدخل كي يكسرها . لكن القوانين لا تقدم لنا صورة عن العالم عندما

بدأ ــ وهنا أيضاً كان من شأن الله أن « يشحن » الميقاتية وأن يختار لها كيف تسير . فإن كان العالم ذا بدء ، فإننا نستطيع أن نفترض وجود خالق له . أما إذا كان العالم يحوي نفسه بكليته حقاً ، دون أن يكون له حدود ولا حافة ، عندئذ تنتفي حاجته إلى بدء ونهاية : فما له سوى أن يكون . ولنا في هذه الحال أن نتساءل : ما هي مهمة الخالق عندئذ ؟ .

٩ سهم الزمن

لقد شرحنا في الفصول السابقة كيف تطورت أفكارنا عن الطبيعة والزمن بمرور السنين. كان الناس في مطلع هذا القرن يعتقدون بزمن مطلق. كان يمكن، في رأيهم، فهرسة كل حادث، بوساطة عدد اسمه «الزمن»، في جدول ذي ترتيب وحيد معين، وكانت الميقاتيات الجيدة كلها تتفق على مقدار الفاصل الزمني بين حادثين. لكن اكتشاف أن سرعة النور واحدة بالنسبة لأي مراقب، مهما كان نوع حركته وسرعتها، قاد إلى نظرية النسبية؛ وفي هذه النظرية تبين وجوب التخلي عن فكرة زمن وحيد مطلق الشمول. وبدلاً من ذلك صار لكل مراقب زمنه الخاص المقيس بوساطة ميقاتية يصطحبها في حلّه وترحاله: أي أن الميقاتيات التي ينقلها مختلف المراقبين لا تتفق بالضرورة فيما بينها. وعلى هذا أصبح الزمن شيئاً شخصياً، شيئاً يخص الراصد الذي يقيسه.

ولدى محاولة توحيد الثقالة وميكانيك الكم ظهرت الحاجة إلى زمن «تخيلي». واختفى التمييز بين الزمن التخيلي والمناحي المكانية. فعلى شاكلة ما يمكن أن يحدث ونحن نسير نحو الشمال، من انقلاب نتجه بعده عائدين نحو الجنوب، يجب أن نستطيع، ونحن نتقدم في اتجاه الزمن التخيلي، أن ننكفئ عائدين. وهذا يعني عدم وجود فرق جوهري بين التقدم والتراجع في الزمن التخيلي. لكننا، من جهة أخرى، نعلم أن الزمن «الحقيقي»

فيه فرق كبير بين جهتي التقدم والتراجع. فمن أين يأتي هذا الفرق بين المستقبل والماضي؟ لماذا نتذكر الماضي لا المستقبل؟.

إن قوانين الفيزياء لا تنطوي على فرق بين الماضي والمستقبل. إنها، بدقيق العبارة وكما شرحنا فيما سبق، تظل على ما هي عليه إذا أجرينا عليها مضمومة العمليات C و P و T (التي أسميناها تناظرات؛ ونذكّر أن التناظر C يقضي بإبدال كل جسيم بمضاده؛ وأن P يقضي بإبدال الشيء بخياله في مرآة، مما يقلب اليمين يساراً واليسار يميناً؛ وأن العملية T تعكس جهة حركة كل الجسيمات، أي أنها في الواقع تعرض الحركة بـ «المقلوب») إن قوانين الفيزياء التي تحكم سلوك المادة في الظروف العادية التي نعرفها تبقى على حالها بعد تطبيق العمليتين C و P معاً عليها. وبتعبير آخر نقول: إن حياتنا لا تختلف في مسراها عن الحياة في كوكب آخر خُلق سكانه وكل شيء فيه من مادة مضادة لمادتنا وهم في الوقت نفسه خيالاتنا في مرآة.

إذا كانت قوانين الفيزياء لا تتغير من جراء مضمومة العمليتين C و P ولا من جراء مضمومة العمليات الثلاث C و P و T فإنها لا بد أن تصمد أيضاً أمام العملية T وحدها. لكننا نعلم أن في حياتنا فرقاً كبيراً بين الاتجاهين، نحو الأمام ونحو الخلف في الزمن الحقيقي. تخيلوا أنكم صورتم شريطاً سينمائياً لفنجان يسقط من المنضدة وينكسر عند ارتطامه بالأرض. إنكم ستميزون بسهولة، لدى عرض الشريط على شاشة، إذا كان العرض جارياً بالاتجاه الصحيح أم بالمقلوب. إذ لو حدث العرض بالمقلوب لرأيتم فنجاناً تتجمع شظاياه فجأة على الأرض ليقفز في الهواء بشكل فنجان سليم عائد نحو المنضدة. عندئذ ستقولون إن الشريط معروض حتماً بالمقلوب، وما ذلك إلا لأنكم لم تروا قط شيئاً من هذا القبيل في الحياة العادية. ولو كان ذلك ممكن الحدوث لأغلقت معامل الخزف أبوابها.

إن التفسير المعطى عموماً لفهم السبب في أننا لا يمكن أن نرى فنجاناً مكسوراً تلتئم أجزاؤه على الأرض ويقفز عائداً إلى المنضدة، هو أن ذلك ممنوع بموجب المبدأ الثاني في الترموديناميك. إن هذا المبدأ يقضي بأن الأنتروبيَّة (أي الفوضى) في جملة مغلقة (معزولة عن أي تأثير خارجي) تزداد في كل الأحوال بمرور الزمن. إنه بتعبير آخر مظهر من مظاهر قانون مورفي الذي يقول متشائماً: «بأن مدهونة الزبدة تسقط على الأرض بوجهها الذي لا نريد»

[أو قل «تجري الرياح بما لا تشتهي السفن!» (المترجم)]. إن الفنجان السليم على المنضدة موجود في حالة عالية الترتيب، أما الفنجان المكسور قطعاً متناثرة على الأرض فهو في حالة فوضوية. ومن السهل جداً تحويل الفنجان من حالة سليمة في الماضي إلى حالة مكسورة على الأرض في المستقبل، لكن العكس لا يحدث أبداً.

إن تزايد الفوضى، أو الأنتروبيَّة، مع الزمن مثال على ما يسمى «سهم الزمن» الذي يشير إلى اتجاه زمني معين. وبهذا الصدد يوجد ثلاثة أسهم للزمن على الأقل. هناك أولاً «السهم الترموديناميي» للزمن، إنه يتجه باتجاه تزايد الفوضى أو الأنتروبيَّة؛ وهناك ثانياً «السهم النفساني» أي الاتجاه الذي تستشعره حواسنا، ذلك الذي بموجبه نتذكر الماضي ولا نتذكر المستقبل؛ وهناك أخيراً «السهم الكوني» cosmological: الاتجاه الذي يحدث وفقه توسع العالم بدلاً من تقلصه.

سأشرح في هذا الفصل كيف يمكن للشرط «دون حافة» وللمبدأ البشري الضعيف أن يفسرا بمجموعهما لماذا تتجه الأسهم الثلاثة باتجاه واحد — مما يفسر، في الوقت نفسه، لماذا يوجد سهم للزمن معين تماماً؟ سأُبيِّن أن السهم النفساني معين بالسهم الترموديناميي، وأن السهمين يتجهان بالضرورة دوماً باتجاه واحد. وسنرى، في حال اعتماد الشرط «دون حافة»، وجوب أن يوجد سهمان للزمن، ترموديناميي وكوني، معيَّنان تماماً لكنهما لا يتجهان باتجاه واحد على مدى كل تاريخ العالم. لكنني سأبرهن على أن اتفاقهما بالاتجاه شرط لازم لحصول الظروف المقبولة الملائمة لنشوء كائنات ذكية قادرة على طرح السؤال التالي: لماذا تزداد الفوضى في الاتجاه الزمني الذي يحدث وفقه توسع العالم؟.

لنتحدث أولاً عن السهم الترموديناميي للزمن. إن المبدأ الثاني في الترموديناميك يدين بوجوده إلى واقع أن عدد الحالات الفوضوية أكبر، في أية جملة مادية، من عدد الحالات المرتبة، ونضرب مثلاً على ذلك القطع الكرتونية التي يتسلى الأولاد برصفها متجاورة بأوضاع معينة للحصول على منظر معين. واضح أن ترتيباً رصفياً واحداً للقطع هو الذي سيؤلف لوحة المنظر المطلوب. لكن عدد الوضعيات المصفوفة فوضوياً، دون أن تشكل القطع الكرتونية فيها أي شيء معقول، كبير جداً.

لنفترض أن جملة تبدأ بالتطور من إحدى حالاتها المرتبة القليلة العدد. فبمرور الزمن تتطور الجملة تدريجياً وفق قوانين الفيزياء وتتغير حالتها. ومن الأرجح أن تصبح الجملة بعد قليل في حالة أقرب إلى الفوضى منها إلى الترتيب، لأن عدد الحالات الفوضوية أكبر. فالفوضى تنزع إذن إلى التزايد كلما طال الزمن إذا كانت الجملة في حالة بدئية عالية الترتيب.

لنفترض أن قطع الأحجية الكرتونية كانت في علبتها في وضعية مرتبة تتشكل بموجبها اللوحة المطلوبة. فلو هززنا العلبة لاتخذت القطع وضعية أخرى. وستكون هذه الوضعية على الأرجح غير مرتبة بشكل يؤلف اللوحة بكاملها، وذلك ببساطة لأن عدد الوضعيات اللامرتبة كثير. قد نجد أن بعض القطع ما تزال تشكل مناطق من اللوحة الأصلية، لكننا كلما أمعنا في هز العلبة ازداد احتمال تخرب هذه المناطق وتوزع قطعها بشكل فوضوي، بحيث لا تعود تمثل شيئاً على الإطلاق. وعلى هذا تتزايد الفوضى بتزايد زمن الهز إذا كانت القطع في حالة بدئية مرتبة بالأسلوب المطلوب.

لنفترض مع ذلك أن الله قرر أن على العالم أن ينتهي إلى حالة ذات ترتيب عال، لكن الحالة التي انطلق منها غير ذات أهمية البتة. أي أن العالم كان، في الأزمنة الأولى، في حالة غير مرتبة على الأرجح. وهذا يعني أنه كان على الفوضى أن تتناقص بمرور الزمن. فكنت سترى شيئاً من قبيل فنجان محطم تتجمع أجزاؤه ويعود قافزاً إلى المنضدة. وفي عالم تعيش كائناته البشرية حياة ترى فيها أشياء من هذا القبيل لا بد للفوضى من أن تتناقص بمرور الزمن. سوف أبرهن على أن مثل هذه الكائنات سيكون لها سهم نفساني للزمن يسير نحو الخلف، أي أن من شأنهم أن يتذكروا حوادث في المستقبل ولا يتذكروا حوادث في الماضي. أي أنهم بعد انكسار الفنجان، يتذكرونه على المنضدة، لكنهم عندما يكون الفنجان على المنضدة لا يتذكرونه على الأرض.

إن من الصعب جداً أن نتحدث عن الذاكرة البشرية، لأننا لا نعلم تفاصيل عمل المخ. لكننا، في مقابل ذلك، نعرف بالفعل كل شيء عن أسلوب عمل ذاكرة الحاسوب (الكمبيوتر). سأتحدث إذن عن سهم الزمن النفساني للحواسيب. وأظن أننا نستطيع القول بأن سهم الحاسوب لا يختلف عن سهم البشر؛ إذ لو كان الأمر عكس ذلك لاستطعنا أن

نربح في سوق المال (في البورصة) مالاً كثيراً باستخدام حاسوب يتذكر ما سوف يحدث غداً!.

إن الأساس في ذاكرة الحاسوب جهاز يحوي عناصر يمكن لكل منها أن يوجد في أحد وضعين. وكمثال على ذلك نذكر أبسط معداد ممكن (المعداد هو الجهاز الذي يستعمل لتعليم مبادئ الحساب في المدارس الابتدائية وهو يتألف من عدة قضبان دقيقة أفقية ينزلق على كل منها خرزات كبيرة). نفترض أن كل قضيب من المعداد ذو خرزة واحدة، وأن هذه الخرزة يمكن أن توجد في أحد وضعين (إلى يسار القضيب أو إلى يمينه). فقبل أن يصدر أي أمر ويتسجل في ذاكرة الحاسوب تكون عناصره موزعة وفق تشكيل فوضوي (تكون خرزات المعداد موزعة فوضوياً على القضبان). وبعد أن تتفاعل الذاكرة مع ترتيب منظومة الأوامر يتخذ كل من عناصرها إما هذا الوضع وإما ذاك في تشكيل نهائي هو صورة مرتبة لمنظومة الأوامر (كل خرزة تذهب إما إلى يمين القضيب وإما إلى يساره بترتيب مقصود). وبذلك تكون الذاكرة قد مرت من حالة لا مرتبة إلى حالة مرتبة. ولكي تتخذ الذاكرة التشكيل المقصود لا بد من صرف كمية من الطاقة (لتحريك الخرزات، أي لتشغيل الحاسوب). وهذه الطاقة تتبدد على شكل حراري وتزيد في مقدار الفوضى في العالم. ويمكن البرهان على أن هذا التزايد في الفوضى أكبر، في كل الأحوال، من تزايد الترتيب في أحشاء الذاكرة. فالحرارة التي تطردها من الحاسوب مروحةُ التبريد تدل على أن الحاصل الكلي للفوضى في العالم كله يزداد عندما يسجل الحاسوب في ذاكرته ترتيباً ما. فالاتجاه الزمني الذي يتذكر الحاسوبُ الماضي وفق تسلسله هو نفس اتجاه تزايد الفوضى.

إن إحساسنا الذاتي بالاتجاه الزمني، أي بسهم الزمن النفساني، يتعين إذن ضمن مخّنا بسهم الزمن الترموديناميي. فنحن، كما في الحاسوب بالضبط، نستطيع تذكر الحوادث بالتسلسل الترتيبي الذي تتزايد الأنتروبيَّة باتجاهه. وهذا يجعل مبدأ الترموديناميك الثاني بدهياً جداً: إن الفوضى تزداد مع الزمن لأننا نسلسل الزمن باتجاه تزايد الفوضى. لا يمكن أن تحلم بقول أفصح من هذا القول!.

ولكن ما سبب وجود السهم الترموديناميي؟ أو بتعبير آخر، لماذا كان على العالم أن يكون ذا ترتيب عال في أحد طرفيه، الطرف الذي نسميه ماضياً؟ لماذا لم يكن دوماً في حالة

فوضى؟ ألا تبدو هذه الحالة بالمنطق أكثر رجحاناً؟ ولماذا كان الاتجاه الزمني الذي تتزايد الفوضى وفقه هو نفس الاتجاه الذي يسلكه العالم في تغير حجمه (في توسعه)؟.

إننا، في نظرية النسبية العامة، لا نستطيع أن نتنبأ بشيء عن كيفية بدء العالم لأن كل قوانين الفيزياء المعروفة تتحطم في متفرد الانفجار الأعظم. لقد كان على العالم بموجبها أن يبدأ في حالة ملساء ومرتبة جداً. وكان ذلك سيفضي إلى سهمين زمنيين، ترموديناميي وكوني، معينين تماماً كما يمكن أن نلاحظه. لكنه كان متاحاً له، سواء بسواء، أن يبدأ في حالة حبيبية ذات تضاريس. ولو كان الأمر كذلك لبلغ العالم قبل اليوم بكثير حالة فوضى كاملة، فلا يمكن للفوضى أن تتزايد بعد ذلك مع الزمن. كان على العالم بعدئذ إما أن يبقى على الحال التي وصل إليها، ولا وجود بعدها لسهم ترموديناميي زمني معين، وإما أن تتناقص فوضاه فيتولد سهم ترموديناميي للزمن يتجه في عكس اتجاه الزمن الكوني. لكن أياً من هاتين الإمكانيتين لا تنسجم مع ما نرصده. لكننا ذكرنا أن النسبية العامة غير الكمومية تتنبأ بهلاك ذاتها. ذلك أن اشتداد انحناء الزمكان يؤدي في النهاية إلى اشتداد أثر المفعولات الثقالية الكمومية، وتصبح النظرية النسبوية اللاكمومية عاجزة عن توصيف الأمور بصدق. فلا بد إذن من نظرية كمومية في التثاقل كي نفهم كيف بدأ العالم.

وفي مثل هذه النظرية رأينا في الفصل السابق أن التدقيق في حالة العالم يحتاج أيضاً إلى تدقيق في كيفية سلوك مسارات العالم المتاحة عند الطرف الماضي للزمكان. وقد رأينا أننا لا نستطيع تحاشي تلك الصعوبات، أي توصيف ما لا نعرفه وما لا يمكن أن نعرفه، إلا إذا افترضنا أن تلك المسارات تنسجم مع الشرط «دون حافة»: أي أن تكون محدودة في التوسع، لكن دون أن يكون لها حدود ولا حافة ولا متفردات. وفي هذه الحال يكون بدء الزمن نقطة من الزمكان نظامية وملساء ويكون العالم قد بدأ توسعه وهو في حالة ملساء جداً ومرتبة. لكنه لم يكن نسيقاً تماماً لأنه كان عندئذ سيخرق مبدأ الارتياب الكمومي. أي أنه كان حتماً يعاني تفاوتات ضئيلة بقدر ما يسمح به مبدأ الارتياب.

بموجب ذلك يكون العالم قد بدأ بفترة توسع أُسِّي، أو انتفاخي، ازداد فيها حجمه بنسبة كبيرة جداً. وقد ظلت التفاوتات الكثافية، في أثناء هذا التوسع، صغيرة في أول الأمر

ثم راحت تتفاقم . ثم كان من شأن المناطق التي كثافتها أعلى قليلاً من الكثافة الوسطية أن تباطأ توسُعها بفعل فائض كتلتها وما ينجم عنه من اشتداد في التجاذب الثقالي . وفي النهاية توقفت هذه المناطق عن التوسع ثم راحت ترتص شيئاً فشيئاً إلى أن شكلت مجرات ونجوماً وكائنات حية مثلنا . لقد كان إذن متاحاً للعالم أن يبدأ في حالة ملساء مرتبة وأن يصبح بالتدريج حبيبياً وغير مرتب بمرور الزمن ، الأمر الذي يفسر وجود سهم الزمن الترموديناميي اليوم .

ولكن ماذا كان سيحدث لو كان العالم قد توقف عن التوسع وراح يتقلص ؟ هل كان السهم الترموديناميي سينعكس اتجاهه وتبدأ الفوضى بالتناقص مع الزمن؟ لقد كان ذلك سيقود إلى إمكانيات طريفة جداً بالنسبة لأولئك الذين قد ينجون بحياتهم من طور التوسع إلى طور التقلص . فهل سيرون الفناجين المحطمة تتجمع شظاياها على الأرض لتصعد قفزة واحدة وفناجين سليمة إلى المنضدة ؟ قد يبدو أمراً شكلياً نوعاً ما أن نهتم بما يمكن أن يحدث عندما يعود العالم إلى التقلص ، وهو الذي ما زال مستمراً في التوسع منذ أكثر من عشرة مليارات عام . على أن هناك وسيلة سريعة لتصور ذلك ، وهي الغطس في ثقب أسود . فتهافت النجم على نفسه وهو في طريقه لتشكيل ثقب أسود عملية تشبه ما سيحدث للعالم كله في مراحل تهافته الأخيرة . وإذا كان للفوضى أن تتناقص في طور ارتصاص العالم فيجب أن نتوقع لها تناقصاً في الثقب الأسود أيضاً . وبذلك يمكن للفلكي الذي سقط في ثقب أسود أن يربح في لعبة الروليت ، وذلك بأن يتذكر قبل وضع الرهان الرقم الذي ستستقر فيه الكرية . (لكنه مع الأسف لن يتاح له وقت طويل للعب قبل أن يصبح عيدان معكرونة . كما أنه لن يكون قادراً على إعلامنا بشيء عن انعكاس سهم الزمن ولا عن توظيف أرباحه لأنه أسير أفق الثقب الأسود) .

لقد ظننت في البدء أن الفوضى تتناقص أثناء تهافت العالم على نفسه . ذلك لأنني كنت أعتقد أن العالم لا بد سيعود إلى حالة ملساء مرتبة عندما يصبح صغيراً من جديد . كان ذلك سيعني أن طور التقلص سيكون بمنزلة معكوس زمن التوسع . أي أن الناس ، في طور التقلص ، سيعيشون حياتهم بالمقلوب : يموتون قبل أن يولدوا ، ويزدادون شباباً كلما استمر العالم في تقلصه .

إنها فكرة جذابة، لأنها تنطوي على تناظر جميل بين التوسع والتقلص. لكننا لا نستطيع أن نتبناها كما هي، بمعزل على الأفكار الأخرى بخصوص العالم. فهل تتأثر بالشرط «دون حافة»، أم أنها لا تنسجم معه؟ لقد فكرت في أول الأمر، كما ذكرت أعلاه، أن هذا الشرط يتضمن حقاً أن تتناقص الفوضى في طور التقلص. كان خطئي هذا ناجماً جزئياً عن التشبيه بسطح الكرة الأرضية، أي تلك الصورة التي تضع بدء العالم فيما يشبه قطباً شمالياً فتقود، على هذا المنوال، إلى أن تكون نهايته على شاكلة القطب الجنوبي. لكن هذين القطبين، كصورتين لبدء العالم ونهايته، ينتميان إلى الزمن التخيلي. ولا غرابة لو كانت نهاية العالم تختلف عن معكوس بدئه في الزمن الحقيقي. وقد خدعني أيضاً عمل كنت من قبل قد أجريته على نموذج للعالم بسيط؛ كان طور التهافت في هذا النموذج مشابهاً لمعكوس زمن التوسع. لكن زميلي، دون بيج Don Page، لاحظ أن الشرط «دون حافة» لا يستدعي طور تقلص ذي زمن هو معكوس زمن التوسع. ثم كان أن وجد أحد تلاميذي، ريموند لافلام، أن تهافت العالم، في نموذج أعقد بقليل، يختلف جداً عن التوسع. وهكذا أدركت أنني كنت مضللاً: لقد تبينت أن الشرط «دون حافة» يتضمن أن يستمر تزايد الفوضى في أثناء التقلص. أي أن سهمي الزمن، الترموديناميي والنفساني، لا ينعكسان عندما ينقلب توسع العالم إلى تقلص، كما لا ينعكسان ضمن الثقب الأسود.

ماذا تفعل عندما تدرك أنك ارتكبت مثل هذه الغلطة؟ إن بعض الناس لا يعترفون أبداً بخطئهم ويكابرون في البحث عن حجج جديدة، غالباً ما تكون متناقضة، كي يخففوا عن أنفسهم ــ كما فعل إيدنغتون عندما اعترض على الثقوب السوداء. ومن الناس من يدعي في بادئ الأمر أنه لم يدافع قط عن تلك الفكرة الخاطئة، أو أنه، إذا كان قد فعل، فما ذلك إلا بقصد إظهار خطئها. لكنني أرى أن من الأحسن والأقل عاراً أن يعترف المرء كتابياً بخطئه. وله في أينشتاين قدوة حسنة، يوم اعترف بأنه ارتكب أكبر خطأ في حياته حين أدخل ذات يوم تلك الثابتة الكونية كي يصنع بوساطتها نموذج عالم سكوني.

وبالعودة إلى موضوع سهم الزمن، ما نزال أمام السؤال التالي: لماذا نلاحظ أن السهمين، الترموديناميي والكوني، يتجهان باتجاه واحد؟ أو بتعبير آخر، لماذا تزداد الفوضى بالاتجاه الزمني الذي ينتحيه توسع العالم؟ ولو سلّمنا بأن العالم يتمدد قبل أن يعود إلى

التقلص، حسب ما يبدو من أن الاقتراح «دون حافة» ينطوي عليه، لاتخذ هذا السؤال الصيغة التالية: لماذا نحن الآن في طور توسع لا في طور تقلص؟.

يمكن الإجابة عن هذا السؤال بالاعتماد على المبدأ البشري: إن الظروف في طور التقلص لا تلائم وجود كائنات ذكية ذات قدرة على طرح السؤال التالي: لماذا تزداد الفوضى في الاتجاه نفسه الذي ينتهجه العالم في توسعه؟ إن انتفاخ العالم في مراحله الأولى، كما يظهر من الشرط «دون حافة»، يعني أن العالم يجب أن يتمدد بمعدل قريب جداً من المعدل الحرج، بما يجعله يتحاشى التهافت على نفسه فينجو من التقلص لفترة مديدة جداً. وفي هذه الحالة تتلاشى النجوم وتصبح البروتونات والنترونات في أحشائها على الأرجح جسيمات ضوء وإشعاعات أخرى. ويصبح العالم في حالة فوضى كاملة، فلا يمكن أن يوجد فيه سهم ترموديناميي قوي. إذ لا يمكن أن يحدث مزيد كبير من الفوضى بعد أن يبلغ العالم في فوضاه حداً أعلى. لكن السهم الترموديناميي القوي ضرورة لإمكانية نشوء حياة ذكية. وعلى الكائنات التي تريد الاستمرار في العيش أن تستهلك غذاء؛ والغذاء، وهو شكل من أشكال الطاقة المرتبة، يتحول في الأحياء إلى طاقة غير مرتبة. فالكائنات الذكية لا يمكن إذن أن توجد في عالم يتقلص. وهذا ما يفسر لماذا نشاهد، نحن البشر، أن السهمين، الترموديناميي والكوني، يتجهان في اتجاه واحد. فليس التوسع العالمي سبباً في تزايد الفوضى؛ لكن الشرط «دون حافة» هو الأحرى بأن يسبب تزايد الفوضى ويوفر الظروف الملائمة لنشوء حياة ذكية في طور التوسع.

خلاصة القول إذن أن قوانين الفيزياء لا تميز بين الاتجاهين، الماضي والمستقبل؛ ومع ذلك يوجد على الأقل ثلاثة أسهم زمنية تميز بالفعل الماضي عن المستقبل: السهم الترموديناميي يتجه باتجاه تزايد الفوضى، السهم النفساني وهو الاتجاه الذي يجعلنا نتذكر الماضي لا المستقبل؛ والسهم الكوني وهو الاتجاه الزمني الذي ينحوه العالم في توسعه بدلاً من تقلصه. وقد برهنتُ على أن السهم النفساني هو جوهرياً السهم الترموديناميي، وأن لهما بالضرورة إذن اتجاهاً واحداً. كما شرحت كيف يتنبأ الشرط «دون حافة» بوجود سهم ترموديناميي معين ناجم عن أن العالم بدأ حتماً في حالة ملساء مرتبة. وسبب ما نشاهده، من أن هذا السهم الترموديناميي يساير السهم الكوني، هو أن الكائنات الذكية لا يمكن أن توجد

إلا في طور توسع. ذلك أن طور التقلص لا ينطوي على سهم زمن ترموديناميي حاسم بما يكفي لنشوء هذه الحياة.

إن التقدم الذي أحرزه الجنس البشري على طريق فهم العالم قد هيأ له ركناً من الترتيب في عالم ذي فوضى متزايدة. ولو أنك استذكرت كل كلمة قرأتها في هذا الكتاب فإن ذاكرتك تكون قد انجزت تسجيل مليوني وحدة معلومات؛ أي أن الترتيب في مخك قد ازداد بمليوني وحدة؛ لكنك، في أثناء قراءتك هذا الكتاب، حولت ألف حريرة طاقة مرتبة على شكل غذاء إلى طاقة غير مرتبة على شكل حرارة أضعتها في الهواء المحيط بالتبخر والعرق. وهذا ما يزيد في فوضى العالم بزهاء عشرين مليون مليار مليار وحدة معلومات — أي أكثر من عشرة مليار مليار مرة مما اكتسبته من ازدياد الترتيب في مخك، هذا على فرض أنك قد حفظت فعلاً كل محتويات هذا الكتاب. وسأحاول في الفصل القادم أن أُدْخِل في مخك المرهق مزيداً من الترتيب، وذلك بأن أشرح لك لماذا يحاول رجال العالم تجميع النظريات الجزئية التي تحدثتُ عنها، كي يؤلفوا نظرية موحدة واحدة تضم في ثناياها كل ما يحدث في العالم من أمور.

١٠ توحيد الفيزياء

إن من الصعب جداً، كما شرحت في الفصل الأول، أن نبني نظرية موحدة صالحة لتفسير كل ما يحدث في العالم. لكننا بدلاً من ذلك أحرزنا تقدماً في إيجاد نظريات تشرح طوائف من الحوادث محدودةً نهمل فيها بعض المداخلات الأخرى. (إن الكيمياء مثلاً تسمح لنا بحساب التفاعلات بين الذرات دون أن نعلم شيئاً عن البنية الداخلية لنواة الذرة). لكننا في نهاية المطاف نأمل أن نجد نظرية مكتملة، منطقية وموحدة، تضم كل تلك النظريات الجزئية كنظريات تقريبية، وبحيث نستغني عن الحاجة إلى تكييفها بانتقاء قيم لبعض الأعداد الاختيارية الداخلة فيها، قيم تجعل نبوءات النظرية تتفق مع الوقائع. إن عمليات البحث عن نظرية واحدة تضم شتات النظريات الجزئية معروفة اليوم باسم «توحيد الفيزياء». وقد قضى أينشتاين معظم سنواته الأخيرة في البحث عن نظرية موحدة، لكن أوانها لم يحن بعد: كنا نملك نظريات جزئية في التثاقل وفي القوة الكهرطيسية، لكننا لم نكن نعرف إلا القليل عن القوى النووية. وعلاوة على ذلك كان أينشتاين لا يؤمن بصدق تفسير ميكانيك الكم، رغم إسهامه الكبير في تطويره. ومع ذلك يبدو أن مبدأ الارتياب طبع أساسي من طباع العالم الذي نعيش فيه. وعلى النظرية الموحدة أن تأخذ هذا الأمر بعين الاعتبار.

يبدو أن آمالنا، كما سأبيِّن بعد قليل، قد انتعشت اليوم أكثر مما مضى لأننا أصبحنا نملك الآن معلومات أكثر بكثير عن هذا العالم. لكننا يجب أن نحذر من الغرور ــ فطالما

تعرضنا إلى آمال خادعة قبل الآن! فقد كنا مثلاً، في أوائل هذا القرن، نظن أن كل شيء يمكن أن يتفسر بلغة خواص المادة المستمرة، كالمرونة والانتقال الحراري. لكن اكتشاف البنية الذرية ومبدأ الارتياب وضع حداً نهائياً لتلك العقيدة. ثم حدث أن أعلن بورن Max Born، حائز جائزة نوبل، أمام عدد من الزوار لجامعة غوتنغين، عام ١٩٢٨، أن «الفيزياء، كما نعلم، سوف تنتهي بعد ستة شهور». كان يقينه يستند على اكتشاف ديراك للمعادلة التي تحكم الالكترون. وكان يُعتقد بوجود معادلة مشابهة تحكم البروتون، وهو الجسيم الوحيد الآخر المعروف آنذاك، وأن إيجادها سيكون خاتمة الفيزياء النظرية. لكن اكتشاف النترون والقوى النووية جاء عاملاً جديداً في إضعاف هذه الثقة. ورغم هذه العظة التاريخية أعود فأقول إن لدينا أسساً تدعونا إلى التفاؤل المتحفظ وتبيح الأمل في أن نبلغ قريباً هدفنا في العثور على القوانين الختامية للطبيعة.

لقد شرحت، في الفصول السابقة، النسبية العامة كنظرية جزئية في التثاقل، والنظريات الجزئية التي تتحكم في القوى الثلاث الأخرى: الكهرطيسية والنووية الشديدة والنووية الضعيفة. وهذه الثلاث الأخيرة يمكن أن تنضم فيما أسميناه نظريات التوحيد الكبير، **ن ت ك**؛ وهي نظريات لا نعدُّها بعدُ مرضية حقاً لأنها، من جهة أولى، لا تحوي الثقالة، ومن جهة أخرى ما تزال تحوي مقادير، كالكتل النسبية للجسيمات المعروفة، لا تتنبأ النظرية بقيمها بل يجب أن تُختار لها قيم تتلاءم مع التجارب. فالصعوبة الرئيسية في العثور على نظرية توحد الثقالة مع القوى الأخرى تكمن في أن النسبية العامة نظرية «تقليدية»، أي أنها لا تحوي مبدأ الارتياب الكمومي؛ في حين أن النظريات الجزئية الأخرى تعتنق ميكانيك الكم في جوهرها. فالخطوة الأولى تقضي إذن بضم النسبية العامة مع مبدأ الارتياب. وهذا، كما رأينا، يمكن أن يفضي إلى نتائج باهرة، كالثقوب السوداء وغير السوداء تماماً أو العالم عديم الحافة وعديم المتفرد. لكن المزعج، كما رأينا في الفصل السابع، هو أن مبدأ الارتياب يعني أن الفضاء، ولو كان «خالياً»، مليء بأزواج وهمية من الجسيمات وأضدادها. وعلى هذه الأزواج أن تكون ذات طاقة لا نهائية؛ وهذا يستدعي، بموجب علاقة أينشتاين الشهيرة $E = mc^2$، أن تكون ذات كتل لا نهائية. وعندئذ نجد تجاذباً ثقالياً شديداً لدرجة أن يحني الزمكان بما يقوقع العالم في حيز لا نهائي الصغر.

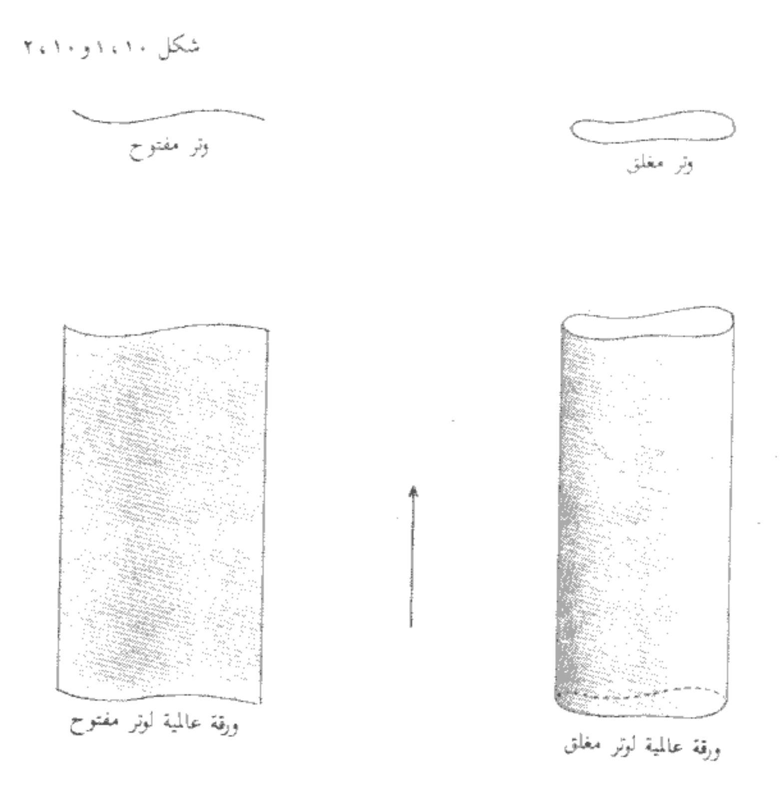
وعلى هذه الشاكلة أيضاً تنطوي النظريات الجزئية الأخرى على لا نهائيات مستحيلة للوهلة الأولى. لكننا نستطيع في كل الأحوال أن نتملص منها بطريقة تدعى «إعادة الاستنظام» renormalisation تقضي بإدخال لا نهائيات أخرى تُعدِّل الميزان. ورغم أن هذه التقنية مريبة نسبياً على الصعيد الرياضي، إلا أنها تبدو ناجحة على الصعيد العملي، وقد طُبقت على هذه النظريات لاستحصال نبوءات تتلاءم مع النتائج التجريبية بدقة جيدة جداً. لكن إعادة الاستنظام تظل مع ذلك مطعناً خطيراً، في مضمار البحث عن نظرية مكتملة، بسبب ما تعنيه من أن القيم الحقيقية للكتل ولشدات القوى لا يمكن استخلاصها من النظرية بل يجب انتقاؤها بما يتوالف مع النتائج التجريبية.

ولئن كنا لا نصادف، لدى محاولة إدخال مبدأ الارتياب في النسبية العامة، سوى مقدارين فقط يجب توليفهما: شدة الثقالة وقيمة الثابتة الكونية، إلا أن توليفهما لا يكفي للتخلص من كل اللانهائيات. فلدينا إذن نظرية يبدو أنها تتنبأ بأن بعض المقادير، كانحناء الزمكان، لا نهائية حقاً، رغم أن هذه المقادير نفسها يمكن أن تُرصد وتقاس كمقادير محدودة تماماً! وبذلك كانت تتراكم الشكوك حول مسألة إدخال مبدأ الارتياب في النسبية العامة إلى أن جاءت حسابات تفصيلية عام ١٩٧٢. وبعد أربع سنوات اقتُرح حل ممكن دُعي باسم «الثقالة الفائقة supergravity». كانت فكرتها تقوم على إدخال جسيم سبينه 2، اسمه غرافيتون ووظيفته حمل القوة الثقالية، مع جسيمات أخرى جديدة سبيناتها 3/2 و1/2 و0. كان يمكن لهذه الجسيمات كلها أن تُعتبر، بمعنى ما، مظاهر مختلفة لـ«جسيم فائق superparticle» واحد، الأمر الذي يوحِّد جسيمات المادة، نصفية السبين: 1/2، 3/2، مع الجسيمات حاملة القوى، صحيحة السبين: 0، 1، 2. أي أن الأزواج الوهمية، جسيمات/جسيمات مضادة، ذات السبين النصفي (3/2,1/2) لها طاقة سالبة، وبذلك تنزع إلى إعدام الطاقة الموجبة للأزواج الوهمية ذات السبين الصحيح (0,1,2). كانت هذه الفكرة سبباً في انعدام كثير من اللانهائيات. لكن المظنون أن بعضها الآخر القليل ما يزال على حاله. ذلك أن حسم هذا الموضوع يقتضي إجراء حسابات طويلة ومعقدة لدرجة أن أحجم الجميع عن الاضطلاع بها. ولدرجة أن بعضهم قدَّر أن إجراءها يقتضي من الحاسوب أربع سنوات على الأقل، ناهيك عن الفرص العديدة جداً في ارتكاب خطأ واحد على الأقل،

إن لم نقل أكثر. وفوق هذا كله لا بد من أحد يقوم بالحساب كله يدوياً للتأكد من صواب الجواب الذي يقدمه الحاسوب! واضح أنك لن تجد عاقلاً واحداً تسوِّل له نفسه التطوع لهذه المهمة.

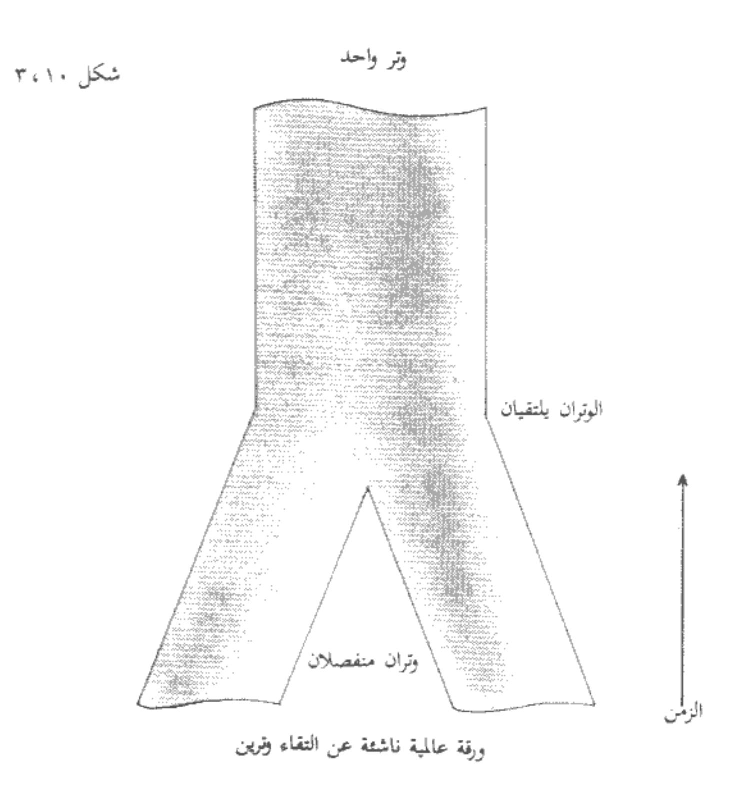
ورغم هذه الصعوبات، ورغم أن الجسيمات في الثقالة الفائقة لا يبدو أنها تتصرف كالجسيمات المعروفة، فإن معظم الفيزيائيين كانوا يرون أن في هذه النظرية على الأرجح حل مسألة توحيد الفيزياء، أي خير وسيلة لتوحيد الثقالة والقوى الأخرى. لكن عام ١٩٨٤ شهد اتجاهاً ملحوظاً نحو ما أسميناه «نظريات الأوتار». لم تكن الأشياء الأساسية في هذه النظريات جسيمات يحتل كل منها نقطة واحدة في الفضاء، بل كائنات لها طول دون أبعاد أخرى، كقطعة وتر دقيق لأقصى الحدود. وهي أوتار إما أن تكون ذات طرفين (أوتار مفتوحة) وإما ملتفة بشكل حلقة مغلقة (أوتار مغلقة) (الشكلان ١٠، ١ و ١٠، ٢). إن

شكل ١٠، ١ و ١٠، ٢



الجسيم يحتل نقطة من المكان في كل لحظة من الزمن، فيكون طريقه في الزمكان خطاً يسمى «خطه العالمي». أما الوتر، وهو الذي يحتل خطاً في المكان، فأثر حركته في الزمكان سطح ذو بعدين يسمى «ورقة العالم». (إن كل نقطة من ورقة العالم يمكن أن توصف بعددين: أحدهما يحدد الزمن والآخر موقع النقطة على الوتر). وورقة العالم لوتر مفتوح لها شكل عصابة؛ وتمثل حدودها المسارات الزمكانية لطرفي الوتر (شكل ١٠، ١). أما ورقة العالم لوتر مغلق فهي أنبوب أسطواني (شكل ١٠، ٢)؛ ومقطع الأنبوب حلقة تمثل مكان الوتر في زمن معين.

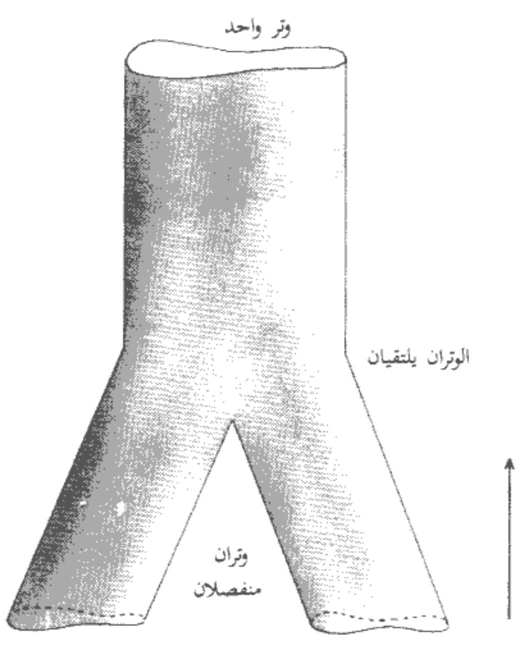
يمكن لوترين أن ينجمعا لتشكيل وتر واحد؛ إما باتصال طرف أحدهما بطرف الآخر إذا كانا مفتوحين (شكل ١٠، ٣) وإما بتشكيل سطح يشبه السروال إذا كانا مغلقين (شكل ١٠، ٤). كما يمكن أيضاً للوتر الواحد أن ينقسم إلى وترين.



ورقة عالمية ناشئة عن التقاء وترين

إن لغة الجسيمات التي كنا نستعملها قبل الآن يجب، في نظرية الأوتار، أن تصاغ بعبارات موجات تسير على طول الوتر، كما تسير الاهتزازات على طول خيط طيارة الورق التي يلهو بها الصبيان. أما إصدار الجسيم لجسيم آخر أو امتصاصه فيتمثل بانقسام وترين أو بالتحامهما. فالقوة الثقالية المتبادلة بين الشمس والأرض، مثلاً، تتمثل في نظرية

شكل ١٠، ٤

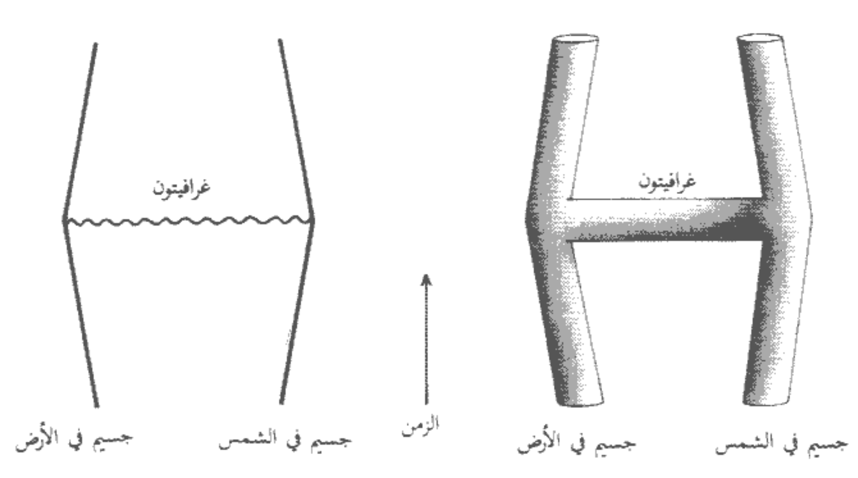


ورقة عالمية ناشئة عن التقاء وترين مغلقين

الجسيمات بإصدار غرافيتون من إحداهما وامتصاصه في جسيم آخر من الأخرى (شكل ١٠، ٥). أما في نظرية الأوتار فتتمثل هذه العملية بأنبوب له شكل H (شكل ١٠، ٦) (إن العمل في نظرية الأوتار يشبه مهنة عمال تمديدات المياه نوعاً ما). إن ساقي الحرف H يمثلان الشمس والأرض، أما الجسر الأفقي فيمثل الغرافيتون الذي يتردد بينهما.

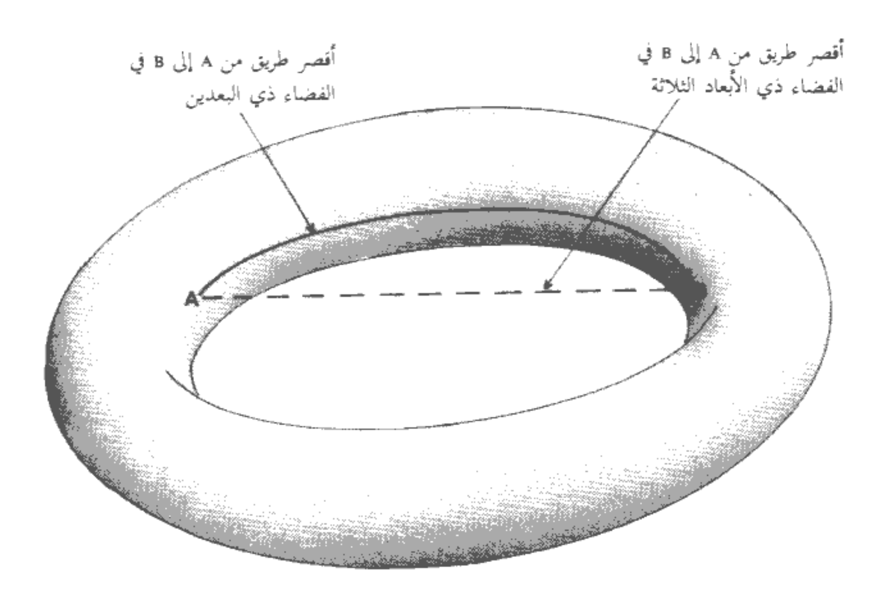
إن لنظرية الأوتار قصة طريفة. كان اختراعها في الستينات يهدف في الأصل إلى صوغ نظرية تصف التفاعل الشديد. كانت الفكرة تقول بإمكانية مقارنة الجسيمات،

شكل ١٠، ٥ و ١٠، ٦



كالبروتون والنترون ، بالموجات على طول الوتر . فكانت التفاعلات الشديدة ، بين الجسيمات ضمن النواة الذرية ، تشبه القطع الوترية التي تربط ما بين أطراف أوتار أخرى على شكل نسيج العنكبوت . ولكي تعطي هذه النظرية القيم الملحوظة في تجارب التفاعل الشديد بين

شكل ١٠، ٧



الجسيمات كان على الأوتار أن تكون كخيوط من المطاط تحتمل قوى شد من رتبة عشرة أطنان .

وفي عام ١٩٧٤ نشر جويل شيرك Scherk ، من باريس ، وجون شوارز J.Schwarz ، من كاليفورنيا ، مقالة يبرهنان فيها على أن نظرية الأوتار لا تصف القوة الثقالية إلا إذا كان توتر الوتر أكبر من ذلك بكثير ، زهاء ١٠^٣٩ طن . ويقولان بأن تنبؤات نظرية الأوتار تتطابق بالضبط مع تنبؤات النسبية العامة في سلالم المسافات العادية ، لكنهما تختلفان في سلم المسافات البالغة الصغر ، التي تقل عن ١٠^-٣٣ سنتيمتر . لقد مرَّ هذا العمل دون أن يلحظه الكثيرون ، لأن معظم الناس كانوا ، في ذلك الوقت بالذات ، قد انصرفوا عن نظرية الأوتار الأصلية في التفاعل الشديد إلى نظرية الكواركات والغليونات التي كانت تبدو أحسن انسجاماً مع الوقائع . وقد مات شيرك في ظروف مأساوية (كان يشكو من مرض السكر ودخل في غيبوبة دون أن يوجد قربه أحد يعطيه حقنة أنسولين) . وبذلك بقي شوارز وحيداً يدافع عن نظرية الأوتار ، لكن بقوة شد أعظم بكثير .

وفي عام ١٩٨٤ عاد الاهتمام بنظرية الأوتار فجأة ، لسببين على ما يظهر . أولهما أن الناس لم يحرزوا تقدماً حقيقياً على طريق إثبات أن الثقالة الفائقة صحيحة ، أي أنها تفسر كل أنواع الجسيمات المعروفة . وكان ثانيهما ظهور نشرة ، بتوقيع شوارز وغرين ، تثبت أن نظرية الأوتار يمكن أن تفسر وجود جسيمات ذات وجهة يسارية ، كبعض الجسيمات التي نرصدها .

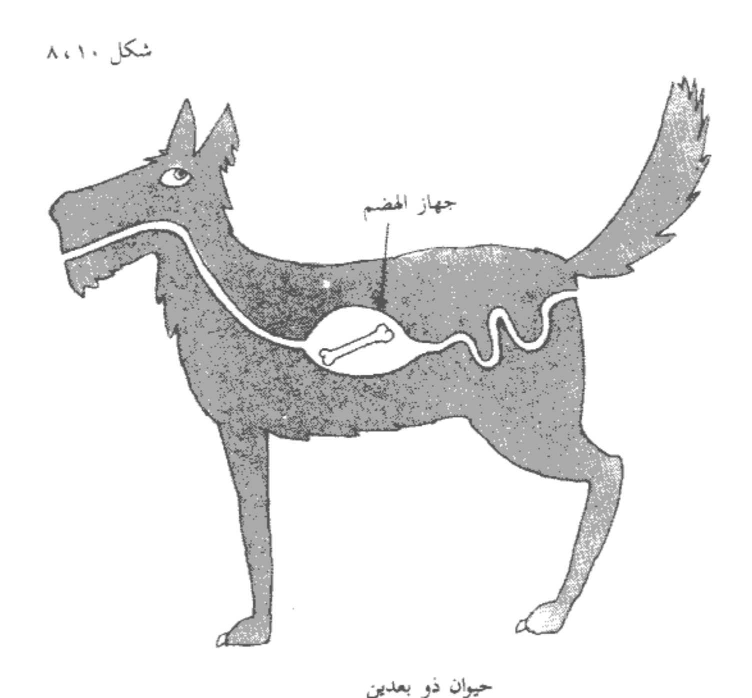
إن نظرية الأوتار تقود أيضاً إلى لانهائيات ، لكن المعتقد هو أن هذه اللانهائيات يمكن أن تختفي في نسخ كتلك التي وصفت بـ « المتغايرة heterotical » (رغم أن هذا لم يكن بعد مؤكداً) . لكن مشكلة أخرى تعترض أيضاً نظرية الأوتار : كانت لا تبدو ذات قيمة إلا إذا كان الزمكان ذا عشرة أبعاد أو ستة وعشرين بعداً ، بدلاً من الأربعة المعهودة ! صحيح أن الأبعاد الإضافية للزمكان أشياء شائعة في الخيال العلمي ؛ حتى أنها تكاد تكون ضرورة هناك ، إذ كيف يمكن لولاها السفر بين المجرات والنجوم في زمن معقول إذا كانت نظرية النسبية تمنع السفر بأسرع من الضوء ؟ وهنا يأتي دور الخيال العلمي القائل بإمكانية وجود طريق قصير في بعد آخر . ولتصور ذلك نسوق التشبيه التالي : تخيل أنك تعيش في زمكان

ذي بعدين فقط، وأن هذا الزمكان منحن يشبه سطح السوار المرسوم في الشكل ١٠، ٧. فإذا كنت موجوداً في جانب من حافة هذا السوار الداخلية، وأردت أن تذهب بسرعة إلى نقطة من الجانب المقابل، يكون عليك أن تتبع الحافة المنحنية الداخلية للسوار. لكنك إذا استطعت أن تسافر في بعد ثالث فستسلك الطريق المباشر نحو النقطة المقابلة.

ولكن لماذا لا نلحظ نحن كل هذه الأبعاد الإضافية إذا كانت موجودة حقاً؟ لماذا لا نرى سوى ثلاثة مكانية وواحد زمني؟ يقال إن الأبعاد الأخرى متقوقعة في حيِّز صغير جداً، في زهاء جزء من ألف مليار مليار مليار جزء من السنتيمتر. إنه، بكل بساطة، أصغر من أن يُلحظ؛ ونحن لا نرى سوى بعد زمني وثلاثة أبعاد مكانية، تشكل بمجموعها زمكاناً يكاد يكون منبسطاً. انظر إلى سطح البرتقالة: إنه عن كثب قريبٍ سطح منحن خشن متحبحب، لكنك لو نظرت إليه من موقع أبعد فلن ترى تضاريسه وسيبدو لك شبه أملس. ذلك هو شأن الزمكان: إنه في السلَّم الصغير جداً ذو عشرة أبعاد مكوَّرة جداً، لكنك لا ترى من بعيد هذه التكورات، أي أبعاده الإضافية. إذا كانت هذه الصورة صادقة فسيلقى من أراد السفر في الزمكان مفاجآت كريهة: ستكون الأبعاد الإضافية أصغر بكثير من أن تسمح له باختراقها. لكن ذلك يثير معضلة أخرى. لماذا كان بعض هذه الأبعاد فقط، لا كلها، ملتفة على نفسها وكأنها في قوقعة؟ يعتقد أنصار هذه النظرية أن كل الأبعاد كانت، في بداية العالم، منطوية على نفسها بانحناء شديد. ولكن لماذا لم «ينفتح» منها بعدئذ سوى البعد الزمني والأبعاد المكانية الثلاثة التي نشهدها، في حين بقيت الأبعاد الأخرى ملفوفة على نفسها؟.

إن في المبدأ البشري إمكانية الجواب. إذ يبدو أن نشوء كائنات معقدة، كالتي نحن منها، لا يمكن أن يتم في بعدين مكانيين فقط. فوجود حيوانات ذات بعدين فقط تعيش على أرض ذات بعدين يجبر هذه الحيوانات على أن تدوس بعضاً على بعض في تنقلاتها. ولو أكل حيوان منها شيئاً يتغذى به ليعيش، فسيكون عليه أن يُخرج كل ما لم يستطع هضمه عن الطريق نفسه الذي دخل منه الغذاء. وفي غير ذلك يكون جسم الحيوان مقسوماً بأنبوب الهضم إلى قسمين منفصلين كلياً (شكل ١٠، ٨). كما يصعب أيضاً تفادي هذا الانفصال في تصور دورة دموية مهما كانت.

شكل ١٠، ٨



حيوان ذو بعدين

ومن الصعب أيضاً أن نتخيل كائنات في أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية. فالقوة الثقالية بين جسمين كانت ستتناقص بأسرع من تناقصها الحالي لدى ازدياد المسافة (معلوم في الأبعاد الثلاثة أن شدة الثقالة تهبط إلى $\frac{١}{٤}$ قيمتها لدى الابتعاد إلى ضعفي المسافة، لكنها كانت ستهبط إلى $\frac{١}{٨}$ قيمتها في عالم ذي أربعة أبعاد، وإلى $\frac{١}{١٦}$ في خمسة أبعاد، ...) وكان ذلك سيؤدي إلى قلق شديد في استقرار حركة الأرض حول الشمس: أي أن أي اضطراب، مهما قل مقداره، يطرأ على مدار دائري (كالاضطراب الذي يسببه حقل ثقالة الكواكب الأخرى من جراء حركتها) كان سيؤدي بالأرض إلى الفرار من الشمس أو الاندفاع نحوها، وكان عندئذ سيودي بنا إلى الموت في صقيع رهيب أو إلى الاحتراق في جحيم لاهب. وحتى في حال غياب ذلك الاضطراب فإن سلوك الثقالة بتغير المسافة، في عالم ذي أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية، يعني أن الشمس ستكون عاجزة عن البقاء مستقرة على حال تتطلب أن تتوازن قوة الثقالة مع الضغط الداخلي. فإما أن تتشظى مزقاً، وإما أن ترتص ثقباً أسود. وهي، في

كلتا الحالين، لن تكون ذات نفع كبير في تزويد الأرض بالدفء والنور اللازمين لاستمرار الحياة عليها. وفي السلَّم الصغير كانت القوى الكهربائية، صاحبة الفضل في استقرار الكترونات الذرة في مداراتها حول النواة، ستتصرف بطريقة سلوك الثقالة. وعندئذ سيكون باستطاعة الالكترونات أن تغادر الذرة أو أن تسقط بحركة حلزونية على النواة. وفي كلتا الحالين لن تكون هناك ذرات.

وعلى هذا يبدو أن الحياة التي نعرفها لا يمكن أن توجد إلا في مناطق زمكانية ذات بعد زمني واحد وثلاثة أبعاد مكانية غير ملتفة على نفسها بانحناء شديد. ومغزى ذلك كله هو أننا نستطيع استخدام المبدأ البشري بصدد ما نحن فيه، شريطة أن نستطيع البرهان على أن نظرية الأوتار تسمح، في حال ما، بوجود مثل هذه المناطق في العالم ـــ ويبدو أنها قادرة على ذلك فعلاً. إذ من الممكن حقاً أن توجد في هذا الكون مناطق أخرى، أو أن توجد عوالم أخرى (افهم ذلك كيفما شئت)، تكون فيها الأبعاد كلها ملتفة بشدة أو يكون فيها أكثر من أربعة أبعاد منبسطة؛ لكن هذه المناطق لا يمكن أن توجد فيها كائنات ذكية، كائنات قادرة على رؤية ما يُرى من تلك الأبعاد.

هذا وبصرف النظر عن مسألة عدد أبعاد الزمكان، تصادف نظرية الأوتار مسائل أخرى لا بد من حلها قبل أن نعلن أنها النظرية النهائية لكل الفيزياء. فنحن لا نعلم إذا كانت كل اللانهائيات ستتفانى فيما بينها ولا كيف بالضبط نجد الرابطة بين الموجات والأوتار من أجل أنواع خاصة من الجسيمات التي نعرفها. ومع ذلك هناك فرصة لظهور أجوبة عن هذه المسائل في السنوات القليلة القادمة، وآمل في أن نعلم، قبل نهاية هذا القرن، إذا كانت نظرية الأوتار هي حقاً نظرية كل الفيزياء، النظرية التي لم نألُ جهداً في البحث عنها منذ زمن طويل.

ولكن هل يوجد حقاً نظرية لكل الفيزياء؟ أم أن هذا الهدف سراب نركض وراءه؟ يبدو أننا أمام إمكانيات ثلاث:

١ ـــ إما أن يكون هناك فعلاً نظرية موحدة مكتملة سنكتشفها ذات يوم إذا كنا نملك من الذكاء ما يكفي لذلك.

٢ ـــ وإما أن لا يكون هناك نظرية ختامية تفسر كل شيء في هذا العالم، بل يوجد سلسلة لا تنتهي من نظريات تفسر الأحداث بدقة متفاوتة.

٣ ــ وإما أن لا يوجد نظرية للعالم ؛ ولا يمكن التنبؤ بالأحداث إلا إلى حد معين تحدث بعده الأمور مصادفة وبشكل اعتباطي .

إن بعض الناس يدعمون الرأي الثالث على أساس أن وجود مجموعة كاملة من القوانين يحد من حرية الله في تغيير رأيه وفي التدخل في سير العالم . إذ كيف يُعقل أن يعمد الله إلى خلق حجر لا يستطيع هو نفسه أن يرفعه ؟ لكن فكرة أن الله يمكن أن يغير رأيه تنطوي على مغالطة تقضي ، كما يقول سانت أوغستان ، بأن نتصور الله ككائن موجود في الزمن : لكن الزمن ليس سوى خاصية من طباع العالم الذي خلقه الله . ومن الأرجح أن الله كان يعلم ما يريد صنعه حين خلق العالم ! .

صحيح أننا في عصر ميكانيك الكم نجد أنفسنا مسوقين إلى الاعتراف بأن من العبث التنبؤ بالحوادث بيقين تام ، بسبب وجود شيء من الارتياب في كل منها . ونستطيع ، إذا شئنا ، أن نعزو حدوث مصادفة معينة إلى تدخل من الله ؛ لكن هذا النوع من التدخل غريب جداً ، لأننا لا نملك أي إثبات بأنه نابع عن إرادة مسبقة . إذ لو كان ما حدث قراراً مسبقاً لانتفى منه عنصر المصادفة تعريفاً . ونحن ، في العصر الحاضر ، قد اسقطنا فعلاً الإمكانية الثالثة الواردة أعلاه ، وذلك بإعادة تحديد الغرض من العلم : إننا نهدف إلى صوغ مجموعة من القوانين قادرة على التنبؤ بالحوادث بما لا يتجاوز حدود مبدأ الارتياب .

أما الإمكانية الثانية ، التي تتكلم عن سلسلة لا نهاية لها من نظريات متزايدة الدقة ، فهي التي تتفق مع خبرتنا . فنحن قد استطعنا في عدة مناسبات ، أن نزيد في حساسية أجهزة القياس أو أن نجري طائفة جديدة من التجارب والأرصاد هدفها الوحيد اكتشاف ظواهر جديدة لم تكن النظريات القائمة تتنبأ بها . ولكي نأخذ هذه الظواهر بعين الاعتبار اضطررنا إلى صوغ نظرية أكثر تقدماً . فيجب إذن أن لا نندهش إذا اكتشفنا ذات يوم أن الجيل الحالي من نظريات التوحيد الكبير خاطئ حين يقول بأننا لن نجد شيئاً ذا شأن كبير يمكن أن يحدث بين طاقة التوحيد الكهرضعيف (الطاقة التي تتوحد عندها القوتان : الكهرطيسية والضعيفة) ، أي زهاء ١٠٠ جاف [جاف = جيغا (مليار) الكترون ــ فولت] ، وطاقة التوحيد الكبير ، أي زهاء مليون مليار جاف . بل يحق لنا أن نتوقع

ظهور عدة سويات بنيوية جديدة أكثر عمقاً من الكواركات والالكترونات التي نسميها اليوم جسيمات «عنصرية».

ومع ذلك يبدو أن الثقالة قادرة على وضع حد لهذه السلسلة من الدمى (النظريات) ذات المهارة المتزايدة. إذ لو كان لدينا جسيم ذو طاقة أكبر من طاقة بلانك (١٠^١٩ جاف) فإن كتلته ستكون مركزة لدرجة أن ينعزل بنفسه عن بقية العالم وأن يشكل ثقباً أسود. وعلى هذا يبدو حقاً أن سلسلة النظريات ذات الدقة المتزايدة ستبلغ نهاية حدية تقترب منها لدى تزايد الطاقة، وأن هناك بالتالي نظرية نهائية تنطوي على كل ما يحدث في العالم. لكن الطريق طويل يقيناً بين طاقة بلانك والطاقة العظمى التي نستطيع إنتاجها في المسرعات الجسيمية القائمة اليوم (زهاء مئة جاف). كما أننا لن نستطيع أن نملأ هذه الفجوة بما يمكن أن نبني من مسرعات في المستقبل! لكن مراحل العالم في بداياته الأولى كانت مسرحاً لظهور مثل تلك الطاقات. وعلى هذا أرى أن آمالنا كبيرة في أن نصل، من خلال دراسة بدايات العالم ومتطلبات المنطق الرياضي، إلى نظرية موحدة مكتملة، وذلك على مدى عمر بعض من يحيط بنا من باحثين اليوم، هذا إذا لم نفجر قبل ذلك أنفسنا بما نملكه من أسلحة التدمير.

وماذا يعني لو اكتشفنا اليوم تلك النظرية النهائية؟ لقد شرحنا في الفصل الأول أننا لا نستطيع الركون تماماً إلى أن ما وجدناه هو حقاً النظرية الصحيحة، لأن النظريات لا يمكن إثباتها. لكننا نستطيع أن نوليها ثقة معقولة إذا كانت سديدة رياضياً وأعطت نبوءات تتفق مع التجارب والأرصاد. وهذا يعني أن البشرية تكون قد بلغت نهاية القصد بعد جهاد طويل مشرِّف في سبيل فهم العالم. لكنه سيكون أيضاً انقلاباً في قدرة استيعاب كل منا للقوانين التي تحكم الكون. ففي عصر نيوتن كان يسهل على الرجل المعقول أن يُلمَّ بقدر من المعرفة البشرية، ولو بخطوطها العريضة. أما بعدئذ فقد غدا ذلك متعذراً بسبب تسارع حركة العلم. لأن النظريات تخضع باستمرار إلى تعديلات تجعلها تمتص كل نتيجة تجريبية جديدة، حتى غدا من الصعب جداً هضمها أو تبسيطها بما يتيح للجميع إمكانية فهمها. وعليك في سبيل ذلك أن تكون مختصاً؛ وحتى في هذه الحالة لا يمكنك أن تأمل في أكثر من رؤيتك الشخصية لزاوية صغيرة من مجمل النظريات العلمية. ومما يزيد الطين بلة هو أن وتيرة التقدم قد أصبحت عالية لدرجة أن تتطلب إعادةَ النظر يوماً بيوم فيما تعلمته في المدرسة

أو الجامعة. وقليلون هم أولئك الذين يستطيعون أن يواكبوا جبهة العلم في تقدمها نحو المزيد، وأن يكرسوا لذلك وقتهم كله وأن يختصوا بمنطقة صغيرة من هذ الحقل الواسع. أما بقية الجمهور فليس بوسعهم سوى أخذ فكرة مقتضبة عن التقدم المنجز والحماس الذي يثيره. يقال إن إيدنغتون كان، قبل سبعين عاماً، يعتقد أن شخصين فقط قد فهما نظرية النسبية العامة. أما اليوم فإن عشرات الآلاف من حملة الشهادات الجامعية يتعلمونها وعدة ملايين من الناس قد ائتلفوا مع فكرتها. وعندما يتم اكتشاف النظرية الموحدة فسيكون من شأن الزمن أن يتيح هضمها وتبسيطها وتعليمها، في خطوطها العريضة على الأقل. وسنكون عندئذ قادرين على استيعاب بعض الفهم للقوانين التي تحكم الكون والمسؤولة عن وجودنا.

لكننا، حتى لو اكتشفنا النظرية الموحدة المكتملة، يجب أن لا نظن أننا أصبحنا نملك القدرة على التنبؤ بكل شيء، وذلك لسببين: أولهما كامن في الحدود التي يفرضها مبدأ الارتياب الكمومي على إمكانيات التنبؤ. أما في الحياة العملية فإن هذا القيد الأول أقل حدة من الثاني. وهذا الثاني ناجم عن أننا لا نستطيع حل معادلات النظرية حلاً دقيقاً إلا في حسابات بسيطة جداً. (حتى أننا لا نستطيع أن نحل بدقة مسألة حركة ثلاثة أجسام في نظرية التثاقل النيوتنية، فكيف تكون الحال مع أجسام أكثر عدداً وفي نظرية أعقد؟) فنحن نعلم منذ الآن القوانين التي تحكم المادة في أبسط الظروف تقريباً. خذ مثلاً خاصاً على ذلك: إن معرفتنا بالقوانين التي تحكم الكيمياء والبيولوجيا لم تتح لنا، بالرغم من ذلك، أن نصنف هذه الموضوعات في حقل المسائل المحلولة. فنحن، كحالنا دوماً، لا نصيب إلا القليل من النجاح عندما نتنبأ بسلوك الإنسان انطلاقاً من معادلات رياضية! ومغزى ذلك كله أننا، حتى لو كنا نملك مجموعة القوانين الأساسية، لن يفتر اهتمامنا الفكري أبداً في أن نحسِّن على مرّ السنين طرق التقريب في حساباتنا بما يمنحنا المزيد من القدرة على التنبؤ بما ستفضي إليه الظروف المعقدة الواقعية. فالنظرية المكتملة، المنطقية والموحدة، لن تكون سوى الخطوة الأولى: أما هدفنا الأسمى فهو **الإدراك الذهني** الكامل لما يحيط بنا من أحداث ولمقومات وجودنا.

كلمة الختام

إننا نعيش ونتعامل مع عالم محيِّر. ونريد أن نعطي معنى لما نراه من حولنا ونطرح شتى التساؤلات: ما طبيعة هذا العالم؟ وما موقعنا فيه؟ ومن أين جئنا، نحن وهو جميعاً؟ ولماذا كان كما هو كائن؟.

وفي محاولة الإجابة عن هذه الأسئلة نتبنى بضعة «تصورات للعالم». وعلى شاكلة تصور أنه برج من السلاحف لا ينتهي في أسفله ويحمل الأرض المنبسطة في قمته، تقدم نظرية الأوتار الفائقة صورة أخرى. إنهما كلتيهما نظريتان في شأن العالم، رغم أن الثانية أعقد في رياضياتها من الأولى وأكثر دقة. إن كلاً منهما تفتقر إلى البراهين التجريبية. إذ لم يشاهد أحد قط السلحفاة التي تحمل الأرض على ظهرها، كما لم يشاهد أحد أيضاً وتراً فائقاً. لكن النظرية السلحفاتية فاشلة كنظرية علمية جيدة لأنها تتنبأ بأن الناس يمكن أن يعانوا سقوطاً من حافة العالم، وليس هذا متفقاً مع التجربة، رغم أنه يمكن أن يتخذ مظهر تفسير لحوادث الاختفاء المزعومة في مثلث برمودا!.

كانت أولى محاولات شرح هذا العالم وتفسيره تنطلق من فكرة أن الحوادث والظواهر الطبيعية تتحكم فيها أرواح ذات أحاسيس بشرية وتنفعل بأسلوب بشري جداً ولا يمكن التنبؤ به. كانت هذه الأرواح تسكن كائنات سماوية كالشمس والقمر. وكان على الإنسان أن يكسب رضاها، وكانت الحظوة لديها شيئاً مرغوباً لتأمين خصوبة الأرض المغذية وتتابع

الفصول. ومع ذلك لوحظ شيئاً فشيئاً أن في هذا العالم شيئاً من الانتظام المستقر: كانت الشمس تطلع دوماً من الشرق وتغيب في الغرب. وكانت الشمس والقمر والكواكب تسلك مدارات في السماء أمكن التنبؤ بها بدقة تستحق الذكر. ولئن ظل القمر والشمس على حالهما من الألوهية إلا أنهما أصبحا إلهين يطيعان قوانين صارمة لا سبيل، على ما يظهر، للشذوذ عنها إذا استثنينا أشباه القصة التي تدعي أن يوشع أوقف الشمس عن المسير.

لم تكن في البدء هذه الانتظامات وتلك القوانين شائعة إلا في علم الفلك وفي عدد صغير من الظواهر الأخرى. لكن الحضارة، في مسار تطورها وخصوصاً في **الثلاثمئة عام** الأخيرة، اكتشفت بالتدريج مزيداً من النظم والقوانين. كان من شأن هذه القوانين ان قادت لابلاس، في أوائل القرن الماضي، إلى افتراض الحتمية العلمية: إن في الكون دون شك مجموعة قوانين تحتم على العالم أن يتطور تطوراً معيناً بكل دقة بعد أن انطلق من تشكيل ظرفي معين في لحظة معينة.

كانت حتمية لابلاس منقوصة على صعيدين اثنين. فهي أولاً لا تتعرض لكيفية اختيار تلك القوانين؛ وليس فيها ثانياً ما يعيِّن ذلك التشكيل العالمي البدئي. كان كله متروكاً لمشيئة الله.

إن الله هو الذي اختار الاثنين معاً، القوانين الصارمة والظروف البدئية؛ وبذلك يكون قد استغنى بعدئذ عن التدخل في شؤون العالم بعد أن أرسله. والواقع أن الله كان ينفرد في مناطق لم يكن القرن التاسع عشر يدركها.

ونحن نعلم اليوم أن آمال لابلاس الحتمية لا يمكن أن تتحقق، بالمعنى الذي أعطاه لهذه الكلمة على الأقل. فمبدأ الارتياب في ميكانيك الكم يتضمن أن بعض أزواج المقادير، كموقع جسيم وسرعته، لا يمكن التنبؤ بهما بدقة تامة في عملية رصد واحدة.

إن ميكانيك الكم يتعامل مع هذه الظروف عن طريق صنف من نظريات كمومية ليس فيها للجسيم موقع ولا سرعة محددان تماماً بل تمثيل موجي. أي أن هذه النظريات الكمومية حتمية بمعنى أنها تعطي قوانين تتحكم في تطور الموجة بمرور الزمن. كما أن معرفة الموجة في لحظة معينة تتيح معرفتها بالحساب في أية لحظة أخرى. لكن ما لا يمكن التنبؤ به،

أي عنصر المصادفة، لا يتدخل إلا عندما نحاول تفسير الموجة بلغة مواقع الجسيمات وسرعاتها. ولكن ربما كان خطؤنا كامناً في هذه النقطة بالذات: قد لا يكون للجسيم موقع ولا سرعة، بل موجات فحسب. وقد كان من الطبيعي أن نحاول صنع تطابق بين الموجات وأفكارنا المسبقة عن المواقع والسرعات. والصعوبات الناجمة عن ذلك هي السبب في انعدام إمكانية التنبؤ.

الواقع أننا قد أعدنا النظر في عملية تحديد مهمة العلم، فأصبحت تقتصر على البحث عن قوانين تجعلنا قادرين على التنبؤ بالحوادث في الحدود التي يفرضها مبدأ الارتياب. ومع ذلك يبقى السؤال مطروحاً: كيف تمَّ اختيار القوانين والحالة البدئية للعالم ولماذا؟.

لقد أعطيت في هذا الكتاب أهمية خاصة للقوانين التي تحكم الثقالة، لأن الثقالة هي التي صاغت بنية العالم في مداه الأوسع، ولو أنها أضعف أصناف القوى الأربع. وقوانين الثقالة متناقضة مع وجهة النظر التي ما تزال سائدة والتي تقضي بأن العالم لا يتغير مع الزمن: فكونها تجاذبية دوماً يتضمن أن العالم يجب أن يكون في حالة توسع أو تقلص. وبموجب نظرية النسبية العامة لا بد أن يكون العالم قد مرَّ بحالة كثافة لا نهائية في ماضي الزمان، لحظة الانفجار الأعظم، كانت المنطلق الواقعي للزمن. وعلى غرار ذلك، لو كان العالم في حالة تهافت على نفسه لانتهى في المستقبل إلى حالة كثافية لا نهائية أخرى، الانكماش الأعظم، هي نهاية الزمن. وهناك، حتى ولو لم يحدث هذا التهافت، متفردات توضعت في بعض المناطق منكمشة فشكلت ثقوباً سوداء. وهذه المتفردات هي نهاية الزمن لمن يسقط في الثقب الأسود. وفي الانفجار الأعظم كما في المتفردات تكون القوانين مكسورة كلها، وكان الله عندئذ أيضاً الحرية التامة في اختيار ما حدث وكيفية بدء العالم.

وعندما يجتمع ميكانيك الكم والنسبية العامة معاً يبدو أن إمكانية أخرى تلوح في الأفق: أي أن يشكل المكان والزمان كينونة فضاء محدود ذي أربعة أبعاد لا متفرد فيه ولا حافة له، كسطح الأرض ولكن مع أبعاد أكثر عدداً. ويبدو أن هذه الفكرة يمكن أن تفسر بعض خصائص العالم، كتجانسه المادي وتناحيه في المدى الواسع، وكذلك الانحرافات عن التجانس في المدى الضيق، كالمجرات والنجوم وحتى الجنس البشري. حتى أن هذه الفكرة ذاتها يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار لدى التمحيص في سهم الزمن الذي نتعامل معه. لكن

الاعتماد على فكرة عالم ليس فيه متفرد ولا حافة وقابل لأن يوصف بنظرية موحدة، له انعكاسات جذرية على دور إلّه وظيفته الخلق.

كان أينشتاين قد طرح ذات مرة السؤال التالي: «أي خيار كان لله كي يبني العالم؟». إذا كان الاقتراح «دون حافة» صحيحاً، فلا حرية له البتة في اختيار الظروف البدئية. صحيح أنه كان يمكن أن يملك حرية في اختيار القوانين التي سيذعن لها العالم. لكن هذا لا يمثل تشكيلة واسعة من الإمكانيات؛ إذ ربما كان هناك نظرية واحدة حقاً، أو عدد قليل من النظريات الموحدة المكتملة، كنظرية الوتر المتغايرة، من النوع المتماسك والذي يتيح فرصة وجود بنى معقدة، كالجنس البشري، قادرة على البحث عن قوانين العالم وعلى طرح أسئلة بخصوص طبيعة الله.

وحتى لو لم يكن يوجد سوى نظرية واحدة مكتملة، فإنها لن تكون أكثر من قواعد ومعادلات. فما الذي ينفخ الروح في هذه المعادلات كي تنتج العالم وفق طبائعها؟ إن العلم ما يزال في موقف — في صدد بناء نموذج رياضي — لا يبيح له أن يجيب عن هذه الأسئلة. كيف تجاوز العالم عقبة ظهوره إلى الوجود؟ هل النظرية الموحدة ذات سلطان يبلغ درجة أن تخلق وجودها بذاتها؟ أم أنها بحاجة إلى خالق؟ وهل لهذا الخالق، إذا كان موجوداً، تأثيرات أخرى في العالم؟ ومن الذي خلق هذا الخالق؟.

كان معظم رجال العلم منشغلين، إلى عهد قريب، بتطوير النظريات التي تصف **ماهية** العالم لدرجة أنهم لم يجدوا الوقت لطرح السؤال: **لماذا؟** ومن جهة أخرى لم يعد مَن صَنعتُهم طرح السؤال، أي الفلاسفة، قادرين على ملاحقة رَكب النظريات العلمية. كان فلاسفة القرن الثامن عشر يعتبرون أن كل ذخيرة البشرية من المعرفة، بما فيها العلم، أمور من اختصاصهم، وكانوا يناقشون أسئلة من قبيل السؤال: هل للعالم بدء؟ لكن العلم أصبح، بعد حلول القرن التاسع عشر، تقنياً ورياضياً أكثر من اللازم بالنسبة للفلاسفة ولكل امرئ آخر ما عدا نخبة المختصين. وبذلك قلّص الفلاسفة دائرة اهتماماتهم لدرجة أن قال فيهم أحد كبار الفلاسفة في عصرنا، ويتغنشتاين: «لم يعد للفلاسفة من ولع إلا بتحليل اللغة». يا له من انحطاط بعد التقاليد الفلسفية منذ أرسطو إلى كنط!.

ومع ذلك، إذا اكتشفنا نظرية مكتملة فستصبح ذات يوم مفهومة في خطوطها العامة لدى كل الناس، لا حكراً على العلميين. وعندئذ سنكون جميعاً، من فلاسفة وعلماء وحتى من رجال الشارع، قادرين على الإسهام في مناقشة حول مسائل الكون ووجودنا. وإذا وجدنا الأجوبة الصحيحة فسيكون ذلك نصراً ختامياً للعقل البشري ــ وعندئذ سنعرف كيف يفكر الله.

ألبــرت أينشــتاين

إن مواقف أينشتاين من القنبلة الذرية معروفة جيداً: فقد وضع توقيعه على الرسالة الشهيرة التي أُرسلت للرئيس الأمريكي، فرانكلين روزفلت، الذي أقنع الولايات المتحدة بضرورة سلوك هذا الطريق؛ ثم انبرى ينشط لدعم الجهود التي بُذلت بعد الحرب لتفادي الحرب النووية. ولم يكن ذلك مجرد عمل معزول من عالِم ضل طريقه في أمور السياسة. لقد كانت حياته، كما عبر عنها بكلماته، «موزعة بين السياسة والمعادلات».

لقد بدأ مبادراته السياسية في أثناء الحرب العالمية الأولى عندما كان يُعلّم في برلين. كان اشمئزازه من الاستهتار بحياة الناس سبباً في نشاطه العلني ضد الحرب. فحرض الناس على العصيان المدني وشجعهم على رفض الانخراط في الجيش، وكان ذلك سبباً في بعض الإعراض الذي لقيه من زملائه. ثم ركّز جهوده، في نهاية الحرب، على المصالحة وتحسين العلاقات الدولية. لكن ذلك لم يزد في شعبيته، بل أصبح سبباً حال دون إمكانية سفره إلى الولايات المتحدة للزيارة، وحتى لإلقاء بعض الدروس.

هذا ورغم أن أينشتاين كان من أصل يهودي إلا أنه كان غير مؤمن بإله كالذي تصفه التوراة. غير أن الاضطهاد الكبير الذي لقيه اليهود، من أعداء السامية العنصريين في أوروبا بعد الحرب العالمية الأولى، جعلته يشعر تدريجياً بانتمائه لهذه الفئة المضطهدة وينافح عنها مدفوعاً بمبادئه الإنسانية. ورغم عدم شعبية هذا الموقف آنذاك فقد استمر فيه بحماس كبير. وكان ذلك سبباً في الهجوم على نظرياته، لدرجة أن أقام خصومُه منظمة ضد أينشتاين وأن حرضوا رجلاً أُدين بمحاولة اغتياله (وحُكم عليه بدفع غرامة: ستة دولارات هزيلة!). لكن أينشتاين قابل كل ذلك ببرود، حتى أنه قال، تعليقاً على كتاب عنوانه: *مئة مؤلف ضد أينشتاين*، «لو كنت مخطئاً لكفى مؤلف واحد».

كان أينشتاين في أمريكا عندما تسنم هتلر سدة السلطة، فصرح بأنه لن يعود إلى ألمانيا. وبعد أن داهمت الميليشيا النازية منزله في برلين وصادرت رصيده المصرفي كتبت إحدى الصحف في عنوان صفحتها الأولى تقول: «أخبار سارة من أينشتاين: إنه لن يعود». ولمواجهة الخطر النازي تخلى أينشتاين عن موقفه الداعي للسلام، وبسبب خشيته من أن يتوصل علماء ألمانيا إلى صنع قنبلة ذرية اقترح على الولايات المتحدة الاضطلاع بذلك. لكنه، وقبل تفجير القنبلة الأولى، أصدر تحذيراً علنياً ضد أخطار الحرب النووية واقترح رقابة دولية على التسليح النووي.

لم تكن الجهود التي بذلها أينشتاين طوال عمره لمصلحة السلام لتجلب له شيئاً ذا شأن كبير — اللهمَّ إلا بضعة أصدقاء. وقد رفض، عام ١٩٥٢، عرضاً تقدمت به إسرائيل ليكون رئيس دولتها، متذرعاً بسذاجته في السياسة؛ وقد قال حينذاك: «إن المعادلات أهم عندي، لأن السياسة تمثل الحاضر؛ أما المعادلة فشيء خالد».

تعليق المترجم

لقد ظهرت سذاجة أينشتاين السياسية، بخصوص القضية الفلسطينية، في «رسالة إلى عربي» كتبها في ٥ آذار/مارس ١٩٣٠، وضمها في كتابه *«هكذا أرى العالم»*. ونحن نترجمها هنا عن الطبعة الفرنسية الصادرة عام ١٩٧٩ عن مؤسسة فلاماريون بعنوان **Comment je vois le monde**، صفحة ١٤٣.

«لقد سرَّتني رسالتك كثيراً. إنها تبرهن على نفاذ بصيرتك لإيجاد حل معقول: إن شعبينا قادران على حل الصعوبات القائمة. إذ يبدو لي أن هذه العقبات هي من طبيعة نفسانية، غير موضوعية، ويمكن تذليلها إذا توفرت الإرادة لدى الطرفين.

إن الظروف الراهنة تبدو سيئة لأن الدولة المنتدبة تعمل على خلق عداوة بين الطرفين. وهذا شيء لا يليق بشعبينا ولا يمكن تبديله إلا إذا اكتشفنا فيما بيننا أرضية يستطيع فيها الطرفان أن يعبِّرا عن نفسيهما وأن يتحدا.

وسأشرح لك هنا كيف يمكن، في رأيي، تغيير الظروف السيئة الراهنة. وأضيف أنه رأي شخصي ولم أخبر به أحداً قبلك.

أرى أن يتشكل «مجلس خاص» يتمثل فيه كل طرف بأربع شخصيات مستقلة عن التنظيمات السياسية: طبيب ينتخبه المجلس الطبي؛ حقوقي ينتخبه زملاؤه؛ ممثل عن العمال تنتخبه النقابات؛ رئيس ديني ينتخبه أقرانه. يجتمع هؤلاء الأشخاص الثمانية مرة في الأسبوع. ويُقسمون متعهدين بأن لا يخدموا المصالح الخاصة لفئاتهم ولشعبهم بل بأن يعملوا حصراً وبكل وعي لتحقيق سعادة السكان كلهم. يجب أن تكون المناقشات سرية فلا يُفشى شيء منها حتى للمقربين.

إذا اتُخذ، بخصوص مسألة ما، قرار يوافق عليه ثلاثة ممثلين على الأقل من كل طرف، يمكن عندئذ إذاعة هذا القرار على مسؤولية المجلس كله. وللعضو المخالف أن ينسحب من المجلس إن شاء، دون أن يخوله ذلك حق إفشاء الأسرار. وإذا رأت إحدى الفئات المذكورة أنها غير راضية عن قرار أُذيع، حق لها أن تبدل ممثلها بشخص آخر.

إن هذا المجلس السري، حتى ولو لم يكن يملك أية سلطة محددة، يستطيع مع ذلك أن يذلل الصعوبات تدريجياً، وأن يضع في مواجهة السلطة المنتدبة تمثيلاً مشتركاً لمصالح البلد يعارض كل سياسة على المدى القصير».

غاليليو

قد يكون لغاليليو، من بين أقرانه من رجال العلم الكبار، الفضل الأكبر في نشأة العلم الحديث. كانت معركته المشهورة مع الكنيسة الكاثوليكية تحتل مركز الصدارة في فلسفته، لأنه كان واحداً من الأوائل الذين برهنوا على أن الإنسان يمكن أن يأمل في فهم كيفية سير العالم، وأن بالإمكان بلوغ هذا الأمل بالتجربة وبرصد العالم القائم.

كان غاليليو مؤمناً بنظرية كوبرنيق (الكواكب تدور حول الشمس) منذ عهد طويل؛ لكنه لم يقرر الدفاع عنها علناً إلا بعد أن وجد البرهان اللازم لإثبات رأيه. وقد استخدم في ذلك اللغة الإيطالية (لا اللغة اللاتينية التي كانت شائعة في مجال العلم)، وما لبثت وجهة نظره أن انتشرت خارج الجامعات. وقد شعر أنصار أرسطو بإساءة كبيرة فاتحدوا ضده أملاً في إقناع الكنيسة الكاثوليكية بتحريم تعاليم كوبرنيق.

ولشعوره ببعض الامتعاض سافر غاليليو إلى روما كي يناقش الأمر مع السلطات الدينية. فبيَّن لهم أن الكتاب المقدس لم يكن يقصد بتاتاً أن يسوق نظريات علمية، وأن على المرء أن لا يرى، فيما يبدو من الكتاب المقدس مخالفاً للحس المنطقي، أكثر من صور رمزية. لكن الكنيسة خشيت من فضيحة كان يمكن أن تلغم كفاحها ضد البروتستنتية، فاتخذت إجراءات رادعة، وأعلنت عام ١٦١٦ أن مذهب كوبرنيق «خاطئ ومضلل» وأمرت غاليليو أن يكف عن «الدفاع عنه والتمسك به». فأذعن.

وفي عام ١٦٢٣ تسنم أحد أصدقاء غاليليو القدماء سدة البابوية. فحاول غاليليو فور ذلك إلغاء قرار عام ١٦١٦. ورغم فشله تدبر الأمر للحصول على ترخيص بنشر كتاب يعرض فيه نظريات أرسطو

ونظريات كوبرنيق كلتيهما؛ وكان ذلك بشرطين: أولهما أن لا يتخذ موقفاً، وثانيهما أن يتوصل إلى القول بأن الإنسان لا يستطيع بحال من الأحوال أن يحدد كيف يسير العالم لأن الله قادر على تحريض المفعولات نفسها بأساليب يعجز الإنسان عن تصورها، فلا يبيح لنفسه أي تحديد لمقدرة الله العليا.

كان عنوان الكتاب: *حوار حول المنظومتين العالميتين الرئيسيتين*. وقد أنجزه ونشره عام ١٦٣٢ بموافقة المراقبين الرسميين، فاعتُبر فوراً في أوروبا كتاب أدب وفلسفة. وعندما شعر البابا بأن الكتاب اتُخذ حجة مقنعة لصالح مذهب كوبرنيق ندم على السماح بنشره. وتذرع بأن غاليليو، رغم حصول الكتاب على إذن رسمي من المراقبين، قد خالف قرار عام ١٦١٦ وأحاله إلى محكمة التفتيش التي حكمت عليه بعدم الخروج من بيته حتى الموت وأمرته باستنكار مذهب كوبرنيق. فأذعن مرة أخرى.

لقد ظل غاليليو كاثوليكياً جيداً، لكن عقيدته باستقلال العلوم لم تتزعزع. وقبل أربعة أشهر من وفاته عام ١٦٤٢، وكان سجيناً في بيته، وصل، بالتهريب، مخطوط كتابه الثاني إلى ناشر هولندي. كان هذا الكتاب، المعروف باسم *أحاديث* Discorsi، أكثر من شهادة لصالح كوبرنيق وأصبح فيما بعد منهل الفيزياء الحديثة.

إســحاق نيـوتــن

لم يكن إسحاق نيوتن بالشخص الذي يوصف بأنه رجل لطيف المعشر. كانت علاقاته بالآخرين، في معظم حياته، مفعمة بالنزاعات الحادة. وقد كان كتابه ــ مبادئ الرياضيات ــ بحق أهم كتاب كُتب قط في الفيزياء، وكان سبباً في ذيوع صيته. وقد انتُخب رئيساً للجمعية الملكية وأصبح أول عالِم سُمي نبيلاً.

لم يلبث نيوتن أن تخاصم مع الفلكي الملكي، جون فلامستيد، الذي راح، بعد أن كان قد زوّده بمعظم المعطيات اللازمة لكتابه، يؤخر نشر المعلومات التي كان نيوتن يطلب منه إذاعتها. يبدو أن نيوتن لم يكن يقنع بالرفض كجواب. ولما كان هو نفسه عضواً في المجلس الحكومي للمرصد الملكي، فقد حاول الحصول على نشرة فورية لهذه المعطيات. وفي النهاية تدبر الأمر كي تقع أعمال فلامستيد (وتُعد للنشر) في يدي إدموند هالي، عدو فلامستيد اللدود. لكن فلامستيد شكا الأمر للقضاء واستصدر، قبل فوات الأوان، أمراً بمنع توزيع العمل المسروق. ولشعوره بالمهانة انتقم نيوتن بإسقاط كل إشارة إلى اسم فلامستيد من الطبعات اللاحقة لكتابه.

لكن نزاعاً أكثر حدة نشب بينه وبين الفيلسوف الألماني غوتفريد لايبنيتز. كان كل منهما قد أنشأ بمفرده فرعاً من الرياضيات، الحساب التفاضلي، هو اليوم أساس في الفيزياء الحديثة. ورغم علمنا اليوم بأن نيوتن قد فعل ذلك قبل لايبنيتز بعدة سنوات، إلا أن الانكليزي لم ينشر عمله إلا في وقت متأخر. وهكذا نشب نزاع مرير للاستئثار بقصب السبق، وانقسم العلماء فريقين يدعم كل منهما صاحبه بحماس. لكن مما يجدر ذكره هو أن معظم النشرات التي كانت تدافع عن نيوتن كان يكتبها هو نفسه ونُشرت بأسماء

أصدقائه! وأمام تفاقم النزاع ارتكب لايبنيتز خطأً كبيراً حين طلب تحكيم الجمعية الملكية. فعمد نيوتن، كرئيس لها، إلى تشكيل لجنة (منحازة) تقوم بالتحقيق وليس في أعضائها، بالمصادفة البريئة! غير أصدقائه. ثم زاد على ذلك بأن كتب بيده تقرير اللجنة ونشرته الجمعية الملكية متهمة لايبنيتز بالانتحال، رسمياً وبكل بساطة! ولم يقنع بذلك بل عمد أيضاً إلى نشر مقالة، غفل من التوقيع، في مجلة الجمعية بخصوص هذا التقرير. ويقال إن نيوتن قد صرح، بعد وفاة لايبنيتز، بأنه شعر بمتعة كبيرة حين «حطم فؤاد لايبنيتز».

كان نيوتن في أثناء هذين النزاعين قد غادر كمبردج والأكاديمية. وكان قد عمل الكثير لمصلحة الحزب المعادي للكاثوليكية في كمبردج ثم، بعد ذلك، في المجلس النيابي حيث كوفئ بتعيينه في المنصب المربح: حاكم مؤسسة إصدار النقد الملكية. وهناك استخدم مواهبه في المكر والكيد بأسلوب أكثر قبولاً، على الصعيد الاجتماعي، فقاد كفاحاً مريراً ناجحاً ضد مزوري النقد، حتى أنه أوصل عدة رجال إلى حبل المشنقة.

شـــرح المصطلحـــات

إحداثيات: أعداد تعين موقع نقطة في المكان وفي الزمان.

إشعاع سنتيمتري من صفحة السماء: إشعاع متبق من ضياء العالم البدئي الساخن، وهو اليوم كبير الانزياح نحو الأحمر لدرجة أنه لا يبدو على شكل نور بل على شكل أمواج راديوية طولها بضعة سنتيمترات.

إشعاع غاماوي: أمواج كهرطيسية ذات أطوال موجية قصيرة جداً تنبثق بالنشاط الإشعاعي من بعض النوى الذرية أو من التصادم العنيف بين جسيمين عنصريين.

أفق: حدود ثقب أسود.

الكترون: جسيم ذو شحنة كهربائية سالبة دوار حول نواة الذرة.

انحفاظ الطاقة: قانون علمي يقول بأن الطاقة (أو مكافئها المادي) لا تُخلق ولا تفنى.

اندماج نووي: عملية يتصادم فيها نواتان ذريتان وتلتحمان معاً فتشكلا نواة واحدة أثقل.

انزياح نحو الأحمر: انزياح لخطوط طيف الأجرام السماوية، ناجم عن مفعول دوبلر بسبب حركة ابتعاد الجرم عنا.

انفجار أعظم: متفرد بدأ منه العالم.

انكماش أعظم: متفرد نهاية العالم.

بروتونات: جسيمات تحمل شحنة كهربائية موجبة، تؤلف زهاء نصف عدد جسيمات معظم النوى الذرية.

بعد مكاني: أي واحد من الأبعاد الثلاثة العادية للفراغ.

بوزترون: الجسيم المضاد للإلكترون. شحنته موجبة.

تسارع: تغير سرعة جسيم متحرك.

تفاعل شديد: أشد القوى الأربع الأساسية وأقصرها مدى. تربط الكواركات معاً ضمن البروتونات والنترونات كما تربط البروتونات والنترونات معاً ضمن نوى الذرات.

تفاعل ضعيف: قوة نووية ذات مدى قصير جداً. تؤثر في كل الجسيمات المادية. لا تؤثر في الجسيمات التي تحمل القوى.

تواتر: عدد الهزات في الثانية الزمنية.

ثابتة كونية: كمية رياضية أدخلها اينشتاين ليعطي الزمكان ميلاً إلى التمدد.

ثانية ضوئية (سنة ضوئية): المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة (في سنة واحدة).

ثقب أسود: منطقة زمكانية ذات جذب ثقالي أشد من أن يدع أي شيء يخرج منها، حتى الضوء.

ثقب أسود بدئي: الثقب الأسود الذي بدأ منه العالم وجوده.

جسيم عنصري: جسيم يقال إنه لا يتجزأ.

جسيم مضاد: يوجد لكل جسيم مادي نوعي ندّ اسمه الجسيم المضاد. عندما يصطدم الجسيم بجسيمه المضاد فإنهما يتفانيان معاً ويتحولان إلى طاقة.

جسيم وهمي: في ميكانيك الكم، جسيم لا يمكن أن يُكشف أبداً بشكل مباشر، بل يُستدل عليه من مفعولات يمكن قياسها.

جيوديزي: أقصر (أو أطول) طريق بين نقطتين.

حادث (أو حدث): نقطة من الزمكان، موقع مكاني مع لحظة زمنية.

حالة استقرارية: حالة لا تتغير مع الزمن: الكرة التي تدور على نفسها بسرعة ثابتة هي كرة مستقرة لأنها تظهر مطابقة لنفسها في كل لحظة ولو كانت غير ساكنة في مكانها.

حدُّ تشندراسيخار: حد أعظمي لكتلة نجم بارد. إذا تجاوزت كتلة النجم هذا الحد كان لا بد للنجم من أن يتهافت على نفسه حتى يصبح ثقباً أسود.

حقل: شيء يحتل المكان والزمان، بخلاف الجسيم الذي لا يمكن أن يوجد إلا في نقطة واحدة في لحظة معينة.

حقل كهربائي: خاصية للجسيم يستطيع بفضلها أن يجذب (أو ينفّر) جسيمات أخرى ذات شحنات مغايرة (أو مماثلة).

حقل مغنطيسي: الحقل المسؤول عن القوى المغنطيسية المعروفة. ينضم إلى الحقل الكهربائي فيشكلان حقلاً كهرطيسياً.

ذرة: عنصر الأساس في المركب الكيميائي، يتألف من نواة مركزية (مصنوعة من بروتونات ونترونات) ومن الكترونات دوارة حولها.

رادار: جهاز يستخدم نبضات راديوية لكشف موقع جسيمات بقياس الزمن الذي ينقضي بين صدور النبضة وعودتها إلى الجهاز بعد انعكاسها عن الجسم.

زمكان: فضاء ذو أربعة أبعاد نقاطه الحوادث.

زمن تخيلي: زمن يقاس بالأعداد التخيلية المعروفة في الرياضيات (الجذور التربيعية للأعداد السالبة).

سبين: خاصية داخلية للجسيمات العنصرية، تشبه، ولا تطابق، المفهوم العادي للتدويم.

شرط «دون حافة»: فكرة أن العالم محدود وليس له حدود (في الزمن التخيلي).

صفر مطلق: أخفض درجة حرارة، عندما تكون المادة خالية من أية طاقة حرارية.

طاقة التوحيد الكبير: طاقة تتوحد، فيما يفوقها من طاقات، القوة الكهرطيسية مع القوة الضعيفة ومع القوة الشديدة بحيث تصبح قوة واحدة لا تتميز فيها واحدة عن أخرى.

طاقة التوحيد الكهرضعيف: طاقة (زهاء مئة مليار الكترون فولت = ١٠٠ جاف) تتوحد بعدها القوة الكهرطيسية مع النووية الضعيفة في قوة واحدة، فيزول التمييز بينهما.

طور: طور الموجة هو المقدار الذي يعبر عن قربها من قمة أو من حضيض أو بينهما.

طول الموجة: المسافة الفاصلة بين قمتين متواليتين، أو حضيضين متواليين، من الموجة.

طيف: توزع مزيج الأمواج (الكهرطيسية مثلاً) بحسب تواتراتها.

علم الكون: دراسة العالم الكوني بمجمله.

فوتون: كمُّ الضوء. تتناسب طاقته مباشرة مع تواتر الموجة المواكبة له.

قوة كهرطيسية: قوة تفاعل بين جسيمين مشحونين بالكهرباء، الثانية في ترتيب شدات القوى الأساسية الأربع في الفيزياء.

قزم أبيض: نجم بارد متوازن بفضل التنافر القائم بين الكتروناته بفعل مبدأ الانتفاء.

كتلة: المحتوى المادي للجسم، عطالته، أي مقاومته للتسريع.

كمّ: وحدة قائمة بذاتها لا تتجزأ، يمكن أن تُصدرها الأمواج أو أن تمتصها. (جمعها كموم).

كوارك: جسيم عنصري (مشحون بالكهرباء) ينفعل بالقوة الشديدة. إن البروتون، وكذلك النترون، يتألف كل منهما من ثلاثة كواركات.

مبدأ الارتياب: لا نستطيع أبداً أن نعلم علم اليقين موقع الجسيم وسرعته معاً في لحظة واحدة؛ كلما تحسن اليقين في معرفة أحدهما ازداد الارتياب في معرفة الآخر.

مبدأ الانتفاء: لا يمكن لجسيمين متطابقين، كل منهما سبينه 1/2، أن يكون لهما (في الحدود التي يفرضها مبدأ الارتياب) موقع واحد وسرعة واحدة.

مبدأ بلانك الكمومي: فكرة تقول بأن الطاقة لا يمكن أن تُصدر أو تُمتص إلا بكموم منفصلة تتناسب طاقتها مع تواتر الموجة التي تحملها.

المبدأ البشري: فكرة تقول بأننا نرى العالم كما هو، لأنه لو كان مختلفاً عما هو لما وُجدنا لنرصده.

متناسب: «س متناسب مع ع» يعني أنه إذا ضربنا س بعدد فإن ع ينضرب بالعدد نفسه. «س متناسب عكسيا مع ع» يعني أن ضرب س بعدد يؤدي إلى تقسيم ع على العدد نفسه.

متفرد: نقطة من الزمكان يصبح فيها الزمكان منحنياً على نفسه لدرجة لا نهائية.

متفرد عارٍ: متفرد في الزمكان غير محوط بثقب أسود.

مثنوية موجة/جسيم: فكرة في ميكانيك الكم تقول بعدم وجود أي فرق بين الأمواج والجسيمات، يمكن للجسيمات أن تتصرف كأمواج ويمكن للأمواج أن تتصرف كجسيمات.

مُسرِّع جسيمات: جهاز يستطيع بفضل مغانطه الكهربائية أن يُسرِّع حركة الجسيمات المشحونة بالكهرباء وذلك بتقديم الطاقة اللازمة لذلك.

ميكانيك الكم: نظرية تطورت انطلاقاً من مبدأ بلانك الكمومي ومن مبدأ الارتياب لهايزنبرغ.

نترون: جسيم غير مشحون بالكهرباء يشبه البروتون جداً. تجتمع بروتونات ونترونات معاً لتشكيل نوى الذرات، ومناصفة تقريباً في معظمها.

نترينو: جسيم مادة عنصري خفيف جداً (ربما هو عديم الكتلة) لا يتأثر إلا بالقوة الضعيفة وبالقوة الثقالية.

نجم نتروني: نجم بارد يدين بتوازنه للتنافر القائم بين نتروناته بفعل مبدأ الانتفاء.

نسبية خاصة: نظرية أسسها أينشتاين على فكرة أن كل قوانين العلم يجب أن تكون هي هي بالنسبة لكل راصد متحرك حركة حرة من كل قيد، مهما كانت قيمة سرعته.

نسبية عامة: نظرية أسسها اينشتاين على فكرة أن كل قوانين العلم يجب أن تكون هي هي بالنسبة لأي راصد مهما كان نوع حركته. وهي تفسر الثقالة بأنها تعبير عن انحناء الزمكان ذي الأبعاد الأربعة.

نشاط إشعاعي: تفكك تلقائي يحدث في بعض النوى الذرية فيحولها إلى نوى عناصر أخرى.

نظرية المتفرد: نظرية يُبرهن فيها على أنه لا بد من تشكل متفرد في ظروف معينة؛ وبصورة خاصة أن العالم قد انبثق حتماً من متفرد.

نظرية التوحيد الكبير (ن ت ك) : نظرية موحدة تضم في بوتقة واحدة القوى (التفاعلات) الثلاث : الكهرطيسية والشديدة والضعيفة .

نواة : الجزء المركزي من الذرة ؛ يضم فقط بروتونات ونترونات تربط فيما بينها القوة الشديدة .

وزن (أو ثقل) : قوة يسلطها الحقل الثقالي على الجسيمات ؛ وهي متناسبة مع كتلة الجسم ، لكنهما ليسا شيئاً واحداً .

المحتوى

• **سلسلة الثقافة المميزة**

(١) العوالم الأخرى (صورة الكون والوجود والعقل والمادة والزمن في الفيزياء الحديثة) .... بول ديفيس ...... د. حاتم النجدي

(٢) موجز تاريخ الزمن (من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء) .... ستيفن هوكنغ ..... د. أدهم السمان

(٣) تطور الأفكار في الفيزياء (من المفاهيم الأولية إلى نظريتي النسبية والكم) البرت آينشتاين ليوبولد انفلد ... د. أدهم السمان

(٤) نشوء العصر الذري .... الوين ماكيه .... د. مكي الحسني الجزائري

(٥) الأوتار الفائقة (نظرية كل شيء) .... ب. ك. دافي جوليان براون ..... د. أدهم السمان


محمد خطاب

موجز تاريخ الزمن: من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء = Abrief history of time / تأليف ستيفن هوكنغ، ترجمة أدهم السمان. ــ دمشق: دار طلاس، ١٩٩٠. ــ ١٨٨ ص.؛ ٢٥ سم.

١ ــ ١ر٥٢٣ هـ وك م ٢ ــ ١ر٥٣٠ هـ وك م ٣ ــ العنوان
٤ ــ هوكنغ ٥ ــ السمان

مكتبة الأسد

رقم الإيداع ــ ١٩٩٠/١٠/٨٥٧

رقم الإصدار ــ ٥٠٩

موافقة وزارة الاعلام
رقم: ١٨١٤٥
تاريخ: ١٩٩٠/١٢/٢٤

ستيفن هوكنغ معروف عالمياً كواحد من كبار علماء الكون في عصرنا الراهن وأحد ألمع الفيزيائيين منذ أينشتاين. وهو خليفة نيوتن على كرسي الرياضيات في جامعة كمبردج واشتهر بأعماله في أصل العالم الكوني.

وهذا أول مؤلَّف قرر كتابته لغير المختصين، ويعرض فيه بلغة بسيطة، أحدث التطورات في فيزياء النجوم، على صعيد طبيعة الزمان وهذا الكون. فبعد أن يسرد كبرى النظريات فيه، من غاليليو ونيوتن إلى أينشتاين وبوانكاريه، شارحاً آخر المكتشفات في مفهوم المكان وماهية الثقوب السوداء، يتعرض للتحدي الأكبر في العلم الحديث: البحث عن نظرية توحد وتضم معاً النسبية العامة وميكانيك الكم، وتنفذ إلى أعماق أسرار هذا الوجود.

